

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior

**GRADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS DE
TELECOMUNICACIÓN**

Trabajo Fin de Grado

Viabilidad de un Portfolio de Productos de Servicios Fijos
Bidireccionales por Satélite de Nueva Generación

Autor: Eva Loreto Tudanca Capón

Directora: Judith M. Redoli Granados

TRIBUNAL:

Presidente: David Anastasio de la Mata Moya

Vocal 1º: Manuel Rosa Zurera

Vocal 2º: Judith M. Redoli Granados

FECHA:

ÍNDICE:

RESUMEN:.....	1
ABSTRACT:	3
DEFINICIONES:	5
GLOSARIO DE SIGLAS:	7
RESUMEN EXTENDIDO:.....	9
INTRODUCCIÓN:	13
MOTIVACIÓN:	13
ESTADO DEL ARTE:.....	13
1. COMPARACIÓN DE LA BANDA KA CON LAS BANDAS L, S, C Y KU.	14
1.1 BANDA L.....	15
1.2 BANDA S.....	18
1.3 BANDA C	21
1.4 BANDA KU.....	25
1.5 BANDA KA.....	30
2. SERVICIOS EN BANDA KA.	35
2.1 HISPASAT	35
2.2 INMARSAT.....	39
2.3 VIASAT	42
2.4 EUTELSAT	45
2.5 INTELSAT	53
3. TIPOS DE SATÉLITES EN BANDA KA.....	56
Hispasat 1E	61
Hispasat 1F.....	62
Amazonas 3.....	63

Amazonas 5.....	64
Xtar-EUR.....	65
Spainsat	65
Hispasat AG1.....	66
ViaSat-1.....	66
ViaSat-2.....	67
Inmarsat 5.....	68
Eutelsat 16A.....	69
Eutelsat KA-SAT	70
Intelsat 29e	72
Intelsat 33e	73
HYLAS 1, 2, 3 y 4	74
4. PLANIFICACIÓN DEL TRANSPONDEDOR SATÉLITE.....	76
4.1 PLANIFICACIÓN DEL TRANSPONDEDOR.	77
4.2 PLANIFICACIÓN DEL ENLACE FORWARD.	82
4.3 PLANIFICACIÓN DEL ENLACE RETURN.	113
CONCLUSIONES.....	131
BIBLIOGRAFÍA.	133
BIBLIOGRAFÍA DE FIGURAS.....	143
BIBLIOGRAFÍA DE TABLAS.....	149

LISTA DE FIGURAS:

Ilustración 1. Mapa de cobertura de satélites en banda L.	16
Ilustración 2. Ejemplo de un satélite de Inmarsat-3.	16
Ilustración 3. Ejemplo de transmisión en banda S para dispositivos móviles.	18
Ilustración 4. Satélite Indostar.	19
Ilustración 5. Flota de satélites ProtoStar.	19
Ilustración 6. Zona de cobertura del ProtoStar II.	20
Ilustración 7. Características del satélite ProtoStar II.	20
Ilustración 8. Antena de la banda C.	21
Ilustración 9. Ejemplo de buque con antenas.	22
Ilustración 10. Huella de cobertura del satélite Brasilsat B4.	24
Ilustración 11. Coberturas globales en la banda C.	24
Ilustración 12. Órbita Geoestacionaria. Congestión de satélites en banda Ku.	26
Ilustración 13. Ejemplo de transpondedores en banda Ku.	27
Ilustración 14. Implementación de ACM.	27
Ilustración 15. Coberturas globales en banda Ku.	28
Ilustración 16. Cobertura en Europa del satélite Amazonas 1.	29
Ilustración 17. Zonas de emisión en diferentes bandas.	30
Ilustración 18. Diferencia entre las tres bandas en cuanto a las antenas y a las zonas de cobertura que se pretenden cubrir con esas antenas.	31
Ilustración 19. Ejemplo de reutilización de frecuencias que tendrían los spot-beams.	32
Ilustración 20. Cobertura global en la banda Ka.	33
Ilustración 21. Crecimiento previsto de los abonados debido al consumo de ancho de banda.	34
Ilustración 22. Ejemplo del conjunto de servicios que ofrece Hispasat.	35
Ilustración 23. Ejemplo de los servicios de la distribución DTH.	37

Ilustración 24. Ejemplo de red en zonas de difícil acceso – Enlace troncal.	38
Ilustración 26. Cobertura del servicio Global Xpress a través de los satélites de Inmarsat-5.	40
Ilustración 27. Cobertura del servicio Global Xpress a través de los spot-beam de los satélites Inmarsat-5.	41
Ilustración 28. Diagrama de red para una vivienda.	43
Ilustración 29. Terminal portátil.	44
Ilustración 30. Usos de los servicios DTH.	46
Ilustración 31. Interconexión de dispositivos inteligentes mediante antenas Smart LNB.	46
Ilustración 32. Mapa de la evolución de la TDT.	47
Ilustración 33. Transmisión de contenidos en directo para la proyección en cines digitales.	49
Ilustración 34. Antena utilizada para proporcionar el servicio Tooway.	51
Ilustración 35. Cobertura conjunta surgida del acuerdo entre Eutelsat y ViaSat.	53
Ilustración 36. Cobertura de la red Intelsat Epic ^{NG}	54
Ilustración 37. Situación de las distintas órbitas con respecto a la Tierra.	57
Ilustración 38. Implementación del sistema Iridium.	58
Ilustración 39. Cobertura del sistema Teledesic.	58
Ilustración 40. Cobertura global del satélite Hispasat 1E.	62
Ilustración 41. Cobertura global del satélite Amazonas 3.	64
Ilustración 42. Cobertura global de los satélites gubernamentales.	65
Ilustración 43. Cobertura del satélite ViaSat-1.	67
Ilustración 44. Cobertura del satélite ViaSat-2.	68
Ilustración 45. Cobertura global de la flota de satélites de Inmarsat-5.	68
Ilustración 46. Situación de los satélites de la flota de Inmarsat-5.	69

Ilustración 47. Cobertura en banda Ka del enlace descendente del satélite Eutelsat 16A.	70
Ilustración 48. Cobertura en banda Ka del enlace ascendente del satélite Eutelsat 16A.	70
Ilustración 49. Cobertura del satélite KA-SAT.	71
Ilustración 50. Cobertura a través de los spot-beams del satélite KA-SAT.	71
Ilustración 51. Cobertura en banda Ka del satélite Intelsat 29e.	72
Ilustración 52. Cobertura en banda Ka del satélite Intelsat 33e.	73
Ilustración 53. Cobertura total entre los satélites Hylas.	74
Ilustración 54. Esquema de la planificación de los enlaces.	76
Ilustración 55. Distribución del ancho de banda en un canal.	79
Ilustración 56. Distribución del transpondedor para el enlace ascendente.	81
Ilustración 57. Distribución del transpondedor para el enlace descendente.	82
Ilustración 58. Intermodulación en hojas de características.	89
Ilustración 59. Productos de intermodulación de tercer orden para el sentido forward.	96
Ilustración 60. Productos de intermodulación de tercer orden para el sentido return.	124

LISTA DE TABLAS:

Tabla 1. Frecuencias en banda Ka que utiliza el sistema Iridium.	57
Tabla 2. Características del satélite Hispasat 1E.	61
Tabla 3. Características del satélite Hispasat 1F.....	63
Tabla 4. Características del satélite Amazonas 3.	63
Tabla 5. Características del satélite Amazonas 5.	64
Tabla 6. Características del satélite Hispasat AG1.....	66
Tabla 7. Características del satélite ViaSat-1.....	66
Tabla 8. Características del satélite Eutelsat 16A.....	69
Tabla 9. Características del satélite KA-SAT.	71
Tabla 10. Características del satélite Hylas 1.	75
Tabla 11. Características del satélite Hylas 2.	75
Tabla 12. Resultados del sentido Forward.	130
Tabla 13. Resultados del sentido Return.....	130

RESUMEN:

A lo largo de los años, el concepto de “servicios de banda ancha” ha ido evolucionando. Los actuales y potenciales usuarios de estos servicios demandan, debido al uso de las nuevas aplicaciones que llegan al mercado, más velocidad en los enlaces; esto se traduce en mayor ancho de banda. Este es el principal motivo para el cambio de los servicios fijos por satélite. Con esta creciente demanda, se ha comprobado que las bandas tradicionales regularizadas para el uso de esos servicios (L, S, C y Ku) no permiten ofrecer los recursos que son necesarios; por lo que se necesita una nueva banda de comunicaciones capaz de dar velocidades acordes a las aplicaciones utilizadas, la banda Ka.

Palabras clave: Banda-Ka, HTS, Servicios-Fijos, Spot-Beam, Link-Budget.

ABSTRACT:

Throughout the years, the concept of “broadband” has evolved. Current and potential users of these services demand, in order to use the new applications coming to market, faster links; so the bandwidth is increased. This is the main reason for the change of fixed satellite services. With this growing demand, it has been found that traditional bands regularized for the use of those services (L, S , C and Ku) do not allow to provide the resources needed; so a new communications band capable of speeds appropriate to the applications used, the Ka band is required.

Key words: Ka-band, HTS, Fixed-Services, Spot-Beam, Link-Budget.

DEFINICIONES:

Redes VSAT: son redes privadas de comunicación por satélite con las que se intercambia información. Permiten mayor flexibilidad e implementación con una gran fiabilidad y bajos costes a través de terminales de tamaño reducido (VSAT) para enlaces punto a punto y enlaces punto a multipunto. Otras ventajas son la instalación en cualquier parte del mundo con cobertura de satélite. Principalmente se basan en tecnologías TDM/TDMA.

Telepuerto (HUB): son un tipo de pasarela que conectan las redes satelitales con las redes terrestres. Su principal objetivo es la retransmisión de los servicios.

GLOSARIO DE SIGLAS:

ACM: Adaptative Coding and Modulation.

BER: Bit Error Rate.

CDMA: Code Division Multiple Access.

C/I: Carrier - to - Interference ratio.

C/N: Carrier - to - Noise ratio.

C/NO: Carrier - to - Noise - density ratio.

DTH: Direct To Home.

DOCSIS: Data Over Cable Service Interface Specification.

DVB-S: Digital Video Broadcasting - Satellite.

DVB-SH: Digital Video Broadcasting - Satellite services to Handhelds.

DVB-S2: Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation.

Eb/NO: Energy per bit to Noise power spectral density ratio.

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

FSS: Fixed Satellite Service.

FEC: Forward Error Correction.

GEO: Geostationary Earth Orbit.

GPS: Global Positioning System.

G/T: Gain to Noise Temperature.

HPA: High Power Amplifier.

HTS: High Throughput Satellite.

IDU: Internal Development Unit.

ITU: International Telecommunication Union.

ITU-R: International Telecommunication Union - Recommendation.

IP: Internet Protocol.

Lbf: Free - space Basic transmission Loss.

LEO: Low Earth Orbit.

LNB: Low Noise Block downconverter.

MEO: Medium Earth Orbit.

MSS: Mobile Satellite Service.

M-APSK: M - Amplitude Phase Shift Keying.

M-PSK: M - Phase Shift Keying.

M2M: Machine to Machine.

ODU: Outdoor Development Unit.

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.

QoS: Quality of Service.

SFD: Saturation Flux Density.

TCP: Transmission Control Protocol.

TDMA: Time Division Multiple Access.

VSAT: Very Small Aperture Terminal.

VNO: Virtual Network Operator.

RESUMEN EXTENDIDO:

Las comunicaciones por satélite, son una tecnología que ha avanzado mucho en los últimos años. Al surgir estas comunicaciones, se utilizaban los satélites como un añadido a las redes terrestres, por lo que no se les daba mucha importancia debido a que era una ayuda para completar el uso de esas redes terrestres. Con el paso del tiempo, esa ayuda a las redes se ha convertido en algo más complejo. Las redes por satélite están permitiendo una salida a aquellos problemas que las redes terrestres no pueden resolver.

Las redes satelitales están basadas en diferentes bandas. Cada una de ellas tiene su utilidad dependiendo de la frecuencia a la que trabajan. Esas bandas tradicionales son la L, S, C y Ku, en orden ascendente de frecuencia respectivamente.

Estas bandas de las que se habla, han ido proporcionando servicios que se han ido ajustando cada vez más a las necesidades que demandaban los usuarios. Esas necesidades cubren cualquier tipo de servicio, desde redes móviles hasta la cobertura de zonas donde era inviable dar acceso a través de una red terrestre; pero, al igual que la tecnología se va quedando obsoleta, esas bandas no llegan a aportar los recursos que hoy en día se necesitan, y ello es debido a los cada vez más nuevos avances tecnológicos.

Estos nuevos avances que han ido provocando que las bandas dejen de ser todo lo “útiles” que se desea, han causado una creciente demanda de ancho de banda. Por lo que actualmente, esas bandas tradicionales sirven, principalmente, como acompañamiento a la mayor parte de los servicios de hoy en día que cubre la banda Ku; aunque, por otro lado, sirven también para dar acceso a algunos servicios muy específicos. Por tanto, las bandas de baja frecuencia (L y S) se han quedado en gran medida para ofrecer servicios móviles, mientras que las bandas C y Ku, se han quedado para ofrecer servicios fijos.

Cada banda comentada tiene una serie de características propias debidas a la frecuencia con la que trabajan, pero eso también nos lleva a tener una serie de limitaciones; y por ese motivo hay ocasiones en las que hay que trabajar con varias bandas para ofrecer cierta variedad de servicios. Los servicios fijos como puede ser el

acceso a Internet, llamadas telefónicas, vídeos, descargas, etc, nos lo proporcionan bandas como la banda C y la Ku. La diferencia entre ambas es poco apreciable, aunque la banda Ku presenta un gran ancho de banda frente a la C. Otra diferencia muy a considerar son las limitaciones que tiene cada una, y eso se debe a que la banda C presenta pequeñas atenuaciones en condiciones meteorológicas extremas, mientras que la banda Ku experimenta atenuaciones mayores que hay que tener muy en cuenta.

A consecuencia de ese mayor ancho de banda, la banda Ku, es una banda que se encuentra muy concurrida debido a que satisface la mayor parte de los servicios que el mercado oferta. Pero, debido a esa concurrencia, está al límite de su capacidad. Por ello surge la nueva banda Ka. Esta, pretende satisfacer las necesidades a las que la banda Ku ya no puede dar servicio, y como ocurría también con la Ku, dará una mayor cantidad de servicios de mayores anchos de banda; que es justo lo que demandan actualmente los usuarios a consecuencia de las nuevas aplicaciones y a esos avances tecnológicos de los que se ha hablado.

Características de la banda Ka que no se daban en las bandas anteriores es el uso de los spot-beams. Estos son haces muy estrechos capaces de dar servicios a distintas zonas de cobertura de los satélites dependiendo de las necesidades de cada momento y de cada ubicación. Eso permite transmitir los servicios a zonas específicas de la cobertura total del satélite (los spot beams), aumentando la eficiencia en la utilización de la potencia del satélite y permitiendo la implementación de servicios bidireccionales de mayor ancho de banda.

Los servicios que ofrece esta nueva banda están todavía en desarrollo, aunque la mayor parte de ellos se han probado en algunos países con mucho éxito. Entre esos servicios cabe destacar aquellos que se ofertan de manera específica a cada usuario en sus residencias como son los servicios DTH. Se encuentran en desarrollo otros como el cine digital, que a través de una red con gran ancho de banda para el acceso a Internet ofrece la descarga de la información en proyectores; mientras que otros servicios ya implementados como puede ser la retransmisión de eventos deportivos están generando muy buenas expectativas. Otros sectores a los que puede ser de utilidad

esta banda son al sector de la ayuda humanitaria, para establecer comunicaciones en casos de desastres naturales, al sector empresarial, como apoyo a aquellas empresas que necesiten por obligación una red satelital, como son las petroleras, y también al sector gubernamental. Pero, en general, los grandes servicios que cubre esta banda son el acceso a Internet de alta velocidad tanto para residencias como para empresas, y los servicios de televisión de calidad.

La banda Ka, está ya en funcionamiento gracias al lanzamiento de nuevos satélites HTS que empiezan a añadir entre su carga útil transpondedores en banda Ka. Muchos servicios, como es el de la televisión, están siendo cubiertos con mucho éxito gracias a esos nuevos satélites. Estos, conforman una red en la cual se necesita básicamente dos terminales terrestres y un satélite. Son redes basadas en los esquemas de las redes VSAT. La mayor parte de estos satélites se sitúan en órbitas Geoestacionarias debido a que ofrecen una mayor facilidad a la hora de proporcionar sus servicios y a que tiene una vida media mucho más grande.

Características que cabe destacar de ellos son los grandes anchos de banda soportados por sus transpondedores y las grandes áreas a las que ofrecen cobertura. Un spot-beam de cada transpondedor da cobertura a una pequeña zona del planeta; pero dado que cada transpondedor puede llegar a tener unos 80 spot-beams, pueden cubrir el mismo territorio que cubría un sólo haz de los satélites en banda Ku. Por ello, el conjunto de los transpondedores de un sólo satélite HTS puede cubrir grandes coberturas con la ventaja de que es capaz de ofrecer servicios a pequeñas zonas cada vez que se requiera, y así ahorrar carga útil.

Como ejemplo de lo que es capaz de ofrecer un satélite HTS, se efectúa una planificación de un transpondedor de un satélite para ofrecer al lector un ejemplo detallado de la división del transpondedor, y de igual modo, como quedaría el balance de los enlaces gracias al uso de esos spot-beams en varios servicios.

Como se ha comentado, el esquema de una red satelital, basada en las redes VSAT, consta de dos terminales terrestres y un satélite. Uno de los terminales es una estación terrena por la que se distribuye todo el flujo de datos y se conecta al resto de la red terrestre, y el otro terminal es el usuario final. Entre cada terminal y el satélite se

define un enlace que puede ser ascendente y descendente, dependiendo del sentido de la información. Esos dos sentidos se han definido como forward (dirección estación terrena-usuario) y return (dirección usuario-estación terrena) y se calcula para cada uno de ellos el balance para el enlace ascendente y descendente. En general, los resultados obtenidos en los ejemplos estudiados son adecuados. En los casos en los que no se ha conseguido viabilidad del enlace para proporcionar el servicio propuesto, se detalla los pasos a seguir para mejorar los enlaces y obtener la calidad perseguida.

INTRODUCCIÓN:

Actualmente los servicios por satélite están en pleno auge debido a la creciente demanda, cada vez mayor, de ancho de banda en cualquier lugar. Esto provoca que los operadores se planteen expandir el segmento satélite para ofrecer sus propios servicios y ser capaces de atender esa creciente demanda.

La necesidad de conseguir mayor capacidad en los enlaces por satélite para la introducción de nuevos servicios de banda ancha, como por ejemplo internet, no pueden ser implementada en la actual banda de frecuencias Ku debido a las actuales características que esta ofrece. Es por ello que es necesario plantear una nueva banda de trabajo.

MOTIVACIÓN:

Uno de los objetivos de este trabajo es el estudio de las diferentes bandas de comunicaciones por satélite usadas hasta ahora para entender la evolución hacia la nueva banda que surge en la actualidad, la banda Ka. A partir de dicho estudio la finalidad del trabajo es estudiar los servicios de gran capacidad que pueden implementarse en la banda Ka a un coste razonable, y definir la viabilidad del uso de un transpondedor para la compartición de los servicios seleccionados de entre los estudiados.

ESTADO DEL ARTE:

Hasta la fecha, existen algunas bandas que ofrecen comunicaciones por satélite para satisfacer las necesidades que han ido surgiendo a lo largo del tiempo. Debido a los avances que han surgido en los últimos años, estas bandas se quedan algo obsoletas para albergar los nuevos servicios que se desean ofertar. Es por ello que surge una nueva banda regularizada para poder satisfacer de manera apropiada la demanda de servicios de hoy en día. Gracias a los operadores, que ya han puesto en órbita nuevos satélites en banda Ka, es ya un hecho la provisión de servicios de banda ancha a través de satélite en dicha banda.

1. COMPARACIÓN DE LA BANDA KA CON LAS BANDAS L, S, C Y KU.

En el siguiente apartado el lector podrá comprender los distintos aspectos de las diferentes bandas de frecuencias utilizadas en las comunicaciones por satélite. Las bandas más utilizadas a lo largo de la historia en este ámbito han sido la banda L, la banda S, la banda C y la banda Ku. En los últimos tiempos, se ha asistido al desarrollo de las comunicaciones por satélite en banda Ka, a pesar de las dificultades asociadas a la misma. A lo largo del documento se describirán los diferentes servicios proporcionados en cada una de esas bandas, lo que nos llevará a detallar las circunstancias por las cuales se ha ido migrando a bandas superiores. La principal característica del traspaso a nuevas bandas es que se va disponiendo de anchos de banda superiores a medida que se aumenta la frecuencia.

El aumento en el ancho de banda necesario para los nuevos servicios de telecomunicaciones, así como la escasez de posiciones orbitales en banda Ku ha llevado al desarrollo de la nueva banda Ka.

En el mundo actual, se ha desarrollado una creciente demanda de servicios de banda ancha tales como acceso a contenido multimedia a través de Internet, descarga masiva de datos o televisión de alta definición. A ello se ha añadido la creciente necesidad de que los servicios se ofrezcan en cualquier lugar y momento en tiempo real. Esto ha causado un incremento en la necesidad de ancho de banda para proporcionarlos, así como el desarrollo de sistemas que permitan llegar a cualquier lugar a un precio razonable. Por todo ello, se ha planteado el uso de los satélites para este propósito. Dado que la actual banda de comunicaciones (banda Ku) se encuentra ya saturada debido a la gran cantidad de satélites que ocupan posiciones orbitales y a la falta de ancho de banda que se requiere para proporcionar esos servicios, surge la Banda Ka como solución. Además, la tecnología de los satélites en banda Ku, que básicamente difunde la misma información a toda la cobertura del satélite, supone una limitación para ofrecer servicios interactivos y bidireccionales, donde cada usuario recibe una información diferente. Otra ventaja de los satélites de banda Ka es la reducción en el precio por MHz transmitido debido al incremento de su capacidad de ancho de banda.

Como respuesta a este problema se ha empezado a trabajar en una nueva banda denominada Banda Ka. Esta tiene un rango de frecuencias mucho más grande que la banda actual (banda Ku) y la ventaja principal es que todavía no está muy utilizada, por lo que tiene mucha capacidad libre para implementar servicios; sobre todo los que demandan una gran cantidad de ancho de banda.

A parte de los servicios y las características principales de las bandas, se expondrán las ventajas e inconvenientes de las mismas, así como las limitaciones que surgen al ir ampliando el rango de frecuencia para ir subiendo de banda.

A continuación se procederá a detallar la evolución de las diferentes bandas que se ha comentado anteriormente:

1.1 BANDA L

Esta fue la primera banda de comunicaciones de interés utilizada para las comunicaciones por satélite. Trabaja en el rango de 1 a 2 GHz, donde para enlaces ascendentes trabaja en torno a 1,6 GHz y para los enlaces descendentes en 1,5 GHz [\[1\]](#) [\[*\]](#). Al ser una banda de la parte baja del rango de frecuencias de las microondas (es la más baja dentro de las bandas que se van a comentar, aunque está dentro de la parte alta del espectro radioeléctrico), utiliza equipos poco complejos y de menor coste que los de las bandas de frecuencias más altas; y consta de antenas de tamaño pequeño, lo que hace que esta banda sea muy apropiada para las comunicaciones móviles [\[2\]](#).

Esta banda no ofrece servicios fijos hoy en día debido a que no dispone del suficiente ancho de banda para proporcionarlos; por lo que todo el ancho de esta banda se utiliza principalmente para las comunicaciones móviles. Entre otros servicios se destacan: servicios marítimos y terrestres, investigación espacial, meteorología, sistemas de posicionamiento global como puede ser el GPS,... [\[3\]](#) También sirve como banda de apoyo a otras bandas como puede ser actualmente la banda Ka [\[4\]](#).

Un ejemplo de satélites son los Inmarsat-3, que son un conjunto de cinco satélites (4 satélites operando y uno de reserva) que proporcionan cobertura global a través de un

máximo de siete haces puntuales, con lo que reparten la potencia en función del servicio que más ancho de banda requiera. Tienen 11 transpondedores en banda L a través de los cuales cada satélite emite una PIRE de 48 dBW [5].

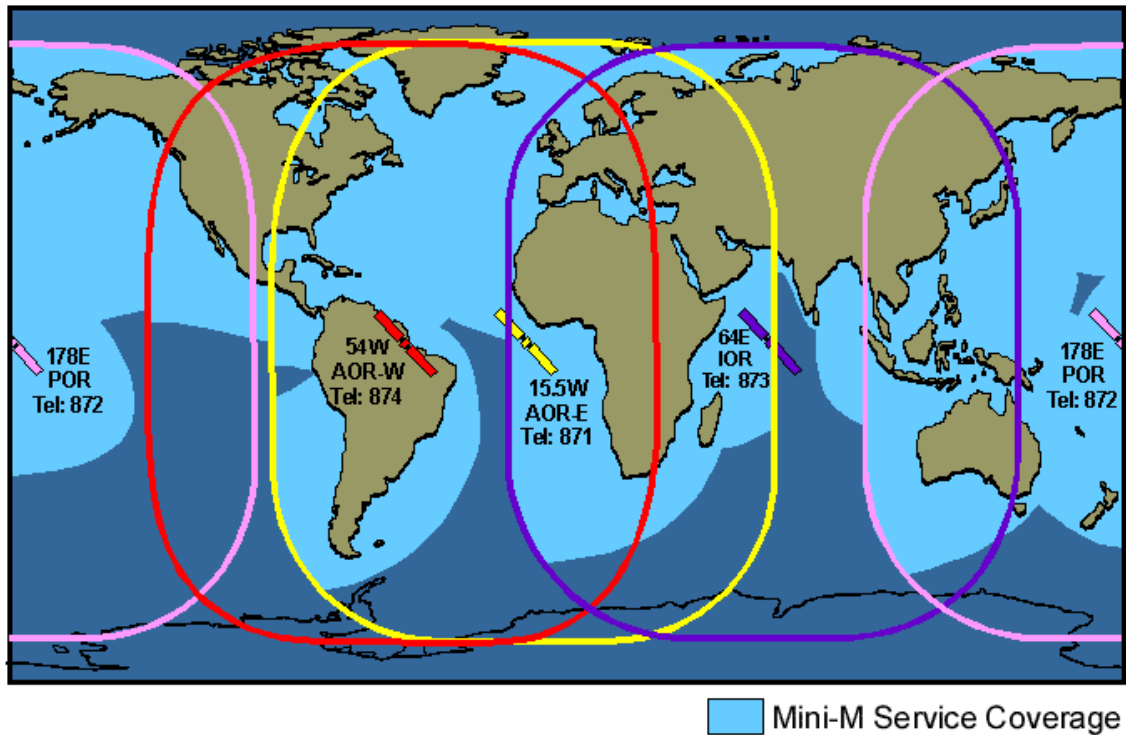


Ilustración 1. Mapa de cobertura de satélites en banda L.



Ilustración 2. Ejemplo de un satélite de Inmarsat-3.

En los satélites, cada transpondedor dispone de 20 MHz de ancho de banda, y este al mismo tiempo se divide en canales de 25 KHz y en sub-canales de 5 KHz para proporcionar los servicios requeridos [\[6\]](#). Al dividirse el transpondedor en canales, permite a las empresas alquilar o comprar parte del transpondedor para poder cubrir las necesidades de transmisión para los distintos tipos de servicios que difunda la empresa.

En cuanto a las técnicas de acceso al medio, es frecuente utilizar FDMA o TDMA [\[7\]](#), excepto en los servicios que proporcionan los sistemas de posicionamiento global que utilizan CDMA. Los estándares de transmisión que utilizan son el DVB-SH, DVB-S y DVB-S2 [\[8\]](#), y a estos se le añaden los estándares de Inmarsat como pueden ser el Inmarsat C y el Inmarsat E [\[7\]](#). Las modulaciones utilizadas por estos estándares son, entre otras, BPSK, QPSK, A-QPSK, O-QPSK... [\[7\]](#) Un ejemplo de dispositivo que se utiliza para proporcionar servicios en esta banda es el NTC 11130, parte de cuyas características se han comentado anteriormente [\[9\]](#).

En cuanto a las limitaciones sufridas a la hora de transmitir los servicios se puede comprobar que no se encuentran prácticamente ninguna que sea lo suficientemente grave como para debilitar la señal. Los efectos troposféricos como pueden ser la lluvia, los gases y las nubes no afectan a esta banda debido a la baja frecuencia en la que trabaja. Estos efectos sólo se tienen en cuenta a partir de los 10 GHz [\(ITU p618-11\)](#). Los efectos ionosféricos sólo afectan con frecuencias inferiores a 1 GHz [\(ITU p531-12\)](#) por lo que tampoco se tienen en cuenta. Las pérdidas de espacio libre, que dependen directamente de la frecuencia, son la mayor limitación en cuanto a la propagación que se encuentra en esta banda; pero al igual que se ha comentado antes, como son frecuencias no muy grandes no van a suponer muchas pérdidas con respecto a las que surgen en las bandas superiores [\(ITU P525-2\)](#) [\[10\]](#).

Al quedarse obsoleta esta banda debido a la poca capacidad de transmisión de datos, se comenzó a utilizar la siguiente banda para mejorar las prestaciones de los mismos servicios. No obstante, la banda L sigue usándose para proporcionar servicios de banda estrecha en movilidad.

1.2 BANDA S

Esta banda es la sucesora de la banda L, tiene un rango de frecuencias de 2 a 4 GHz, y trabaja para los enlaces de subida a 2,2 GHz, y para los enlaces de bajada a 1,9 GHz [10]. Los satélites que trabajan con esta banda dedican prácticamente todo su ancho de banda a las comunicaciones móviles [3], por lo que no deja sitio a los servicios fijos. Los transpondedores de los satélites constan de un ancho de banda 30 MHz (15 MHz por cada polarización) [11], el cual se divide en canales que se pueden comprar o alquilar para los diferentes propósitos de las empresas, al igual que en la banda anterior. Las técnicas de acceso al medio más usuales son FDMA, OFDMA y TDMA; y los estándares de transmisión son el DVB-SH y algunos estándares de Inmarsat. En cuanto a las modulaciones utilizadas son frecuentes QPSK, BPSK, 16QAM o 16APSK.

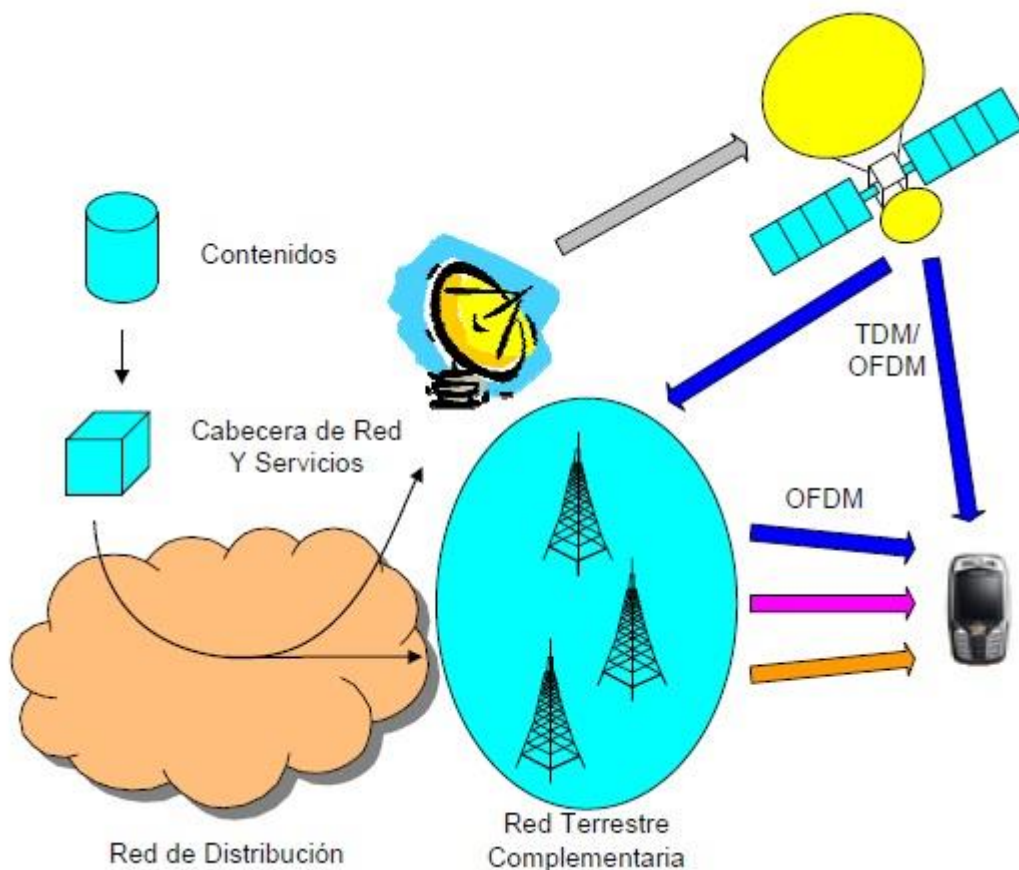


Ilustración 3. Ejemplo de transmisión en banda S para dispositivos móviles.

Esta banda es utilizada por algunos radares meteorológicos, oceanografía, estudios de la NASA, para ofrecer servicios de teledetección, y por algunos satélites de comunicaciones para proporcionar nuevos servicios móviles que ofrecen conectividad en algunos medios de transporte como los aviones [\[12\]](#).

Por otro lado, todavía se dan en algunas partes del mundo servicios de televisión DTH a través de esta banda [\[13\]](#). Un ejemplo de ello es el satélite Indostar 1, que proporciona el servicio de televisión a toda Indonesia a través de cinco transpondedores de 70 W que se dividen en 40 canales [\[14\]](#).



[Ilustración 4. Satélite Indostar.](#)

Otro ejemplo de satélites que hoy en día da cobertura también a Indonesia es la flota de satélites ProtoStar que cuenta con un total de 3 satélites [\[15\]](#).



[Ilustración 5. Flota de satélites ProtoStar.](#)

El satélite ProtoStar II, cuyas características de transmisión son las siguientes, proporciona cobertura a través de la banda S:



Ilustración 6. Zona de cobertura del ProtoStar II.


		
Key Parameters		
Total Transponders	S-Band Indonesia: Ku-Band Philippines/Taiwan: Ku-Band Indonesia: Ku-Band Indian Sub-Continent:	up to 10 (in equiv. 27 MHz units) up to 10 (in equiv. 24 MHz units) up to 10 (in equiv. 24 MHz units) up to 12 (in equiv. 36 MHz units)
Polarization	X-Band Indonesia: S-Band Indonesia: Ku-Band Philippines/Taiwan: Ku-Band Indonesia: Ku-Band Indian Sub-Continent:	Linear- Horizontal or Vertical Linear- Horizontal or Vertical Linear- Horizontal Linear- Vertical Linear- Horizontal or Vertical
E.I.R.P. (Edge of Coverage to Beam Peak)	S-Band Indonesia: Ku-Band Philippines/Taiwan: Ku-Band Indonesia: Ku-Band Indian Sub-Continent:	44.0 up to 47.0 dBW 47.0 up to 53.5 dBW 47.5 up to 54.0 dBW 52-54 dBW
G/T Range (Beam Peak)	X-Band Indonesia: Ku-Band Philippines/Taiwan: Ku-Band Indonesia: Ku-Band Indian Sub-Continent:	5.0 dB/K up to 8.0 dB/K up to 7.6 dB/K 4.0 dB/K
SFD Range	X/S-Band Indonesia: Ku-Band Philippines/Taiwan: Ku-Band Indonesia: Ku-Band Indian Sub-Continent:	-96.0 to -86.0 dBW/m2 at 0 dB/K G/T Contour -86.0 to -76.0 dBW/m2 at 0 dB/K G/T Contour -86.0 to -76.0 dBW/m2 at 0 dB/K G/T contour -86.0 to -76.0 dBW/m2 at 0 dB/K G/T Contour

Ilustración 7. Características del satélite ProtoStar II.

En cuanto a las limitaciones que proporciona esta banda de comunicaciones, los efectos troposféricos siguen sin afectar debido a que todavía no se llega a los 10 GHz requeridos para que sus efectos sean visibles ([ITU p618-11](#)). Los efectos ionosféricos tampoco se tienen en cuenta debido a que se trabaja con frecuencias superiores a 1 GHz ([ITU p531-12](#)), pero los efectos de la despolarización empiezan a tener importancia debido a que afectan a las frecuencias superiores a 2 GHz pero hasta los 10 GHz no tienen unos efectos considerables ([ITU p618-11](#)); por lo que se desprecian también. Las pérdidas que si hay que tener en cuenta son las pérdidas de espacio libre que dependen de la frecuencia de transmisión y de la distancia a la que se encuentra el satélite ([ITU p618-11](#)).

1.3 BANDA C

Esta banda de comunicaciones trabaja en torno a los 6 GHz a la hora de transmitir datos, mientras que a la hora de recibirlos trabaja en torno a los 4 GHz. En total la banda C cubre un rango de frecuencias de 4 a 8 GHz [[1](#)] [[*](#)]. Debido a estas frecuencias se suelen utilizar antenas de tamaño considerable (2,4 a 3,7 m) [[16](#)]. Estas antenas son las que se sitúan en los barcos que atraviesan los océanos de manera frecuente, y debido a eso necesitan una conectividad constante. Un ejemplo de ellas son las que están colocadas en los cruceros o en los grandes buques comerciales.



[Ilustración 8. Antena de la banda C.](#)



Ilustración 9. Ejemplo de buque con antenas.

En esta banda, los haces de la antenas son muy grandes debido al mayor tamaño de las antenas. Esto es debido a que el tamaño de las antenas es proporcional a la longitud de onda de la señal.

Los satélites normalmente trabajan en bandas de 500 MHz a la hora de transmitir sus servicios [17]. Este ancho se divide en canales que se dedican a los servicios de las empresas [18]. También constan de transpondedores de 36 MHz o 40 MHz de ancho de banda esas transmisiones [17]. En cuanto a las técnicas de acceso al medio es frecuente TDMA, FDMA [17] y las técnicas de espectro ensanchado (CDMA) [19], debido a que el paso de la banda S a la banda C ya es significativo respecto al volumen de información que se transmite. Los estándares de transmisión más comunes son DVB-S y DVB-S2, y las modulaciones requeridas son QPSK, 8PSK y 16APSK entre otras [20].

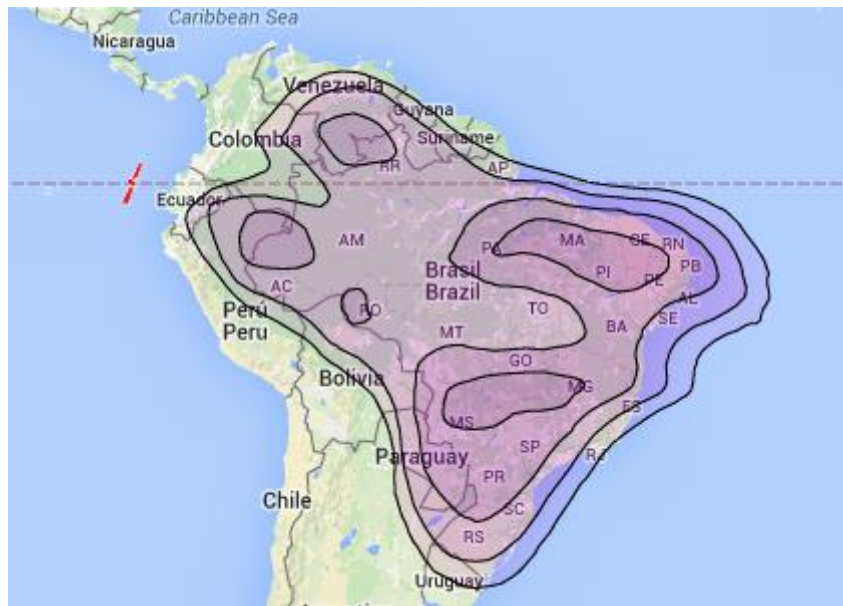
Los servicios que se ofrecen en esta banda cubren un amplio rango de aplicaciones como pueden ser labores humanitarias, servicios de contribución y distribución de televisión, aeronáutica, meteorología, redes VSAT, etc. Algunas grandes empresas que siguen utilizando esta banda para proporcionar muchos de sus servicios son Hispasat e Intelsat.

Los servicios que ofrece Intelsat son principalmente de distribución de señales de televisión y distribución de otras comunicaciones por todo el mundo, encargándose de la distribución de los programas de televisión incluyendo los eventos ocasionales como pueden ser algunos partidos de fútbol. Al igual que los servicios televisivos, se encarga de la recolección de noticias y su posterior difusión por todo el mundo. También proporciona conectividad para la transmisión de datos que son críticos, es capaz de conectar terminales desde lugares remotos, y sobre todo, es capaz de ofrecer seguridad y ayuda antes situaciones de emergencia como pueden ser catástrofes. Todo ello es posible mediante la creación de enlaces fiables y seguros [\[21\]](#).

En lo referente a Hispasat, ha sido capaz de desarrollar servicios como lo son las redes VSAT, la distribución y contribución de contenidos de televisión y radio, servicios móviles, transmisión de datos críticos tanto para uso empresarial como para situaciones de emergencia, etc. Todos estos servicios, como se ve, son comunes para ambos operadores satelitales al igual que se implementan en otros [\[22\]](#). Posteriormente, se ofrecerán los mismos servicios en la banda Ka pero con mayor ancho de banda para cada uno de ellos.

También cabe destacar que actualmente se está preparando el uso de esta banda para la ampliación de los servicios móviles, que están en pleno auge a través de los satélites [\[22\]](#).

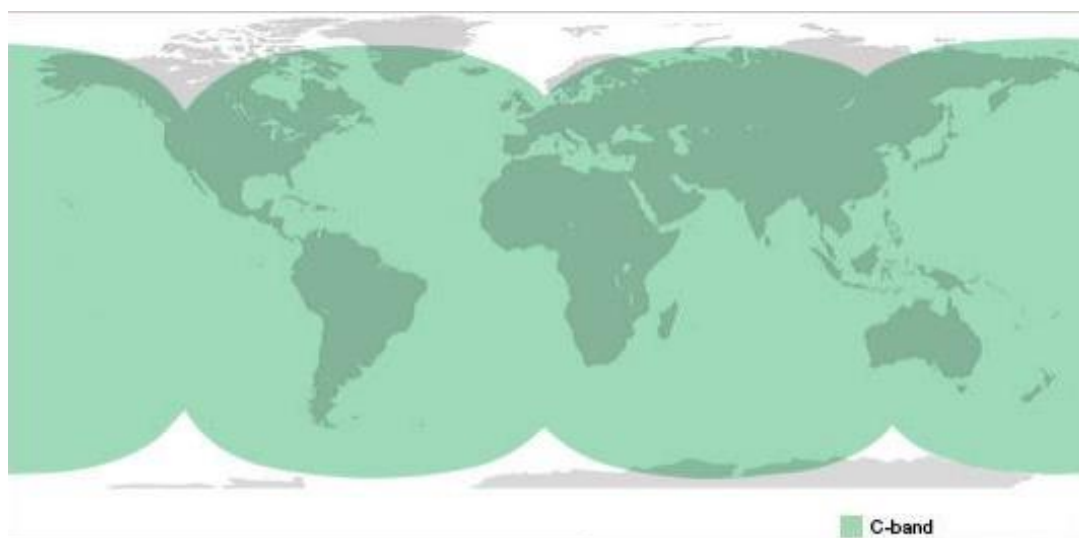
Las ventajas que tiene esta banda de frecuencias es que proporciona una alta disponibilidad, bajas pérdidas atmosféricas (debido a que las pérdidas que surgen por la lluvia y el granizo, que son las que más afectan, no suponen ningún problema) y una cobertura global debido al gran ancho de haz con el que transmiten. Por ello, los satélites que emiten en esta frecuencia son muy comunes en zonas donde hay clima muy lluvioso. Un ejemplo de ello es el satélite Brasilsat B4 que da cobertura a todo el Sur de América a través de 28 transpondedores en banda C para dar servicios de comunicaciones de voz y vídeo [\[23\]](#).



[Ilustración 10. Huella de cobertura del satélite Brasilsat B4.](#)

Otros satélites de especial interés que dan cobertura a las mismas zonas con unas condiciones en las que hay un clima lluvioso son el satélite AMC-12 [\[24\]](#) y el satélite Eutelsat 65 West A [\[25\]](#).

Un ejemplo de router trabajando en banda C es el iDirect 5300 [\[26\]](#).



[Ilustración 11. Coberturas globales en la banda C.](#)

En cuanto a las limitaciones, se comenta lo mismo que se ha dicho en las bandas anteriores. No afectan los efectos troposféricos ni los efectos ionosféricos, se sigue teniendo las pérdidas de espacio libre que van afectando en mayor medida y en estas frecuencias surgen interferencias a la hora de transmitir. Esto es debido a que se emite con más intensidad, y surgen interferencias con otros satélites y con la Tierra (la banda C está también asignada a los radioenlaces terrestres). Este problema queda solucionado debido a que se transmite con espectro ensanchado, lo que requiere un gran ancho de banda [\[27\]](#).

1.4 BANDA KU

La banda Ku es la banda más utilizada en este momento debido a que proporciona servicios de uso masivo como la difusión de televisión y servicios de datos, pero actualmente está ya muy saturada. Tiene un rango de frecuencias entre los 11,7 GHz a 17,8 GHz [\[1\]](#) [\[*\]](#). Esta banda supuso un cambio drástico con respecto a las bandas anteriores debido a que es capaz de proporcionar servicios de masas como la televisión y no sólo servicios dirigidos a sectores concretos. Todo ello ha sido posible gracias al aumento de la frecuencia y la potencia, lo que implica un mayor ancho de banda de transmisión que permite el transporte de gran cantidad de datos.



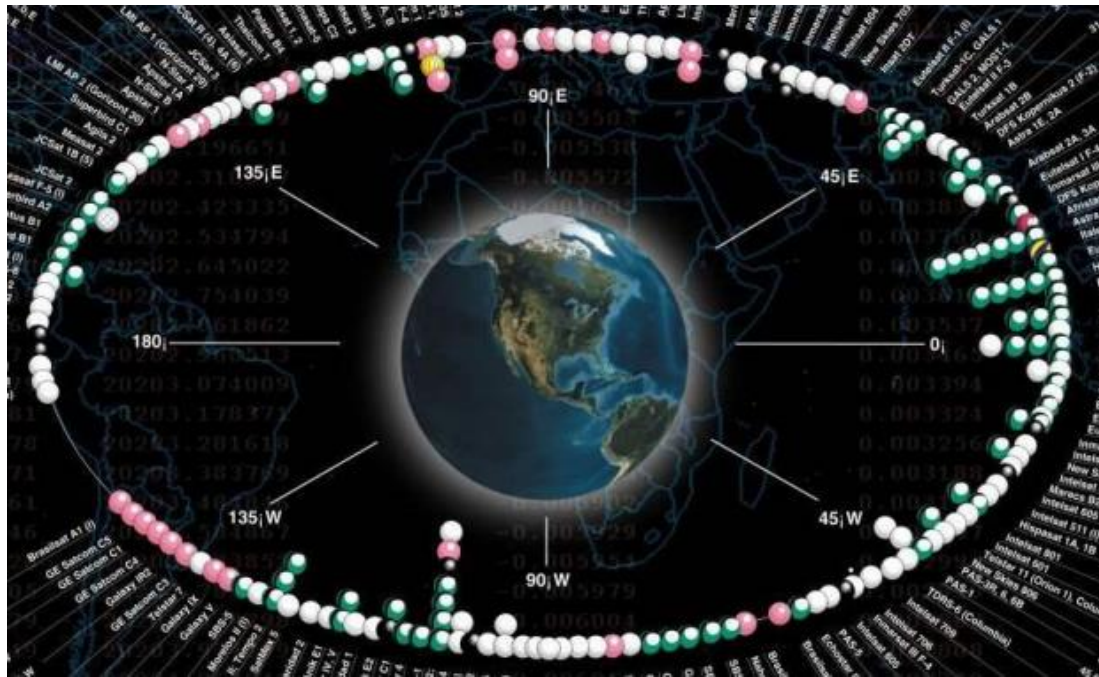


Ilustración 12. Órbita Geoestacionaria. Congestión de satélites en banda Ku.

La transmisión en el enlace ascendente se sitúa entre los 14 GHz y los 14,8 GHz, y el enlace descendente se sitúa entre los 10,7 GHz y los 11,7 GHz en Europa, y entre los 11,7 GHz y los 12,2 GHz en América [\[1\]](#). Se dispone de un total de 6 GHz de ancho de banda que se divide en sub-bandas de 500 MHz y este, al mismo tiempo, se divide en anchos de 36 MHz, 54 MHz o 72 MHz que son los tamaños de los transpondedores. Los anchos de los transpondedores se dividen en canales para repartir los diferentes servicios y las empresas los alquilan según sus necesidades. Hay veces que se transmiten con doble polarización para hacer más efectivo el uso del ancho de banda [\[17\]](#).



Ilustración 13. Ejemplo de transpondedores en banda Ku.

Los accesos al medio más comunes son FDMA y TDMA [16] [17], los estándares de transmisión más comunes son DVB-S y DVB-S2, y las modulaciones son QPSK y 8PSK [20]. El estándar de transmisión DVB-S2 se está empezando a utilizar con modulación y codificación adaptativa para proporcionar al usuario servicios más específicos [28]. Esta técnica ACM permite cambiar de forma automática la modulación para compensar los cambios en las condiciones del enlace debidas por ejemplo a las condiciones climáticas. Consiste en modular la portadora con diferentes esquemas de modulación y codificación para conseguir la disponibilidad y el rendimiento deseado.

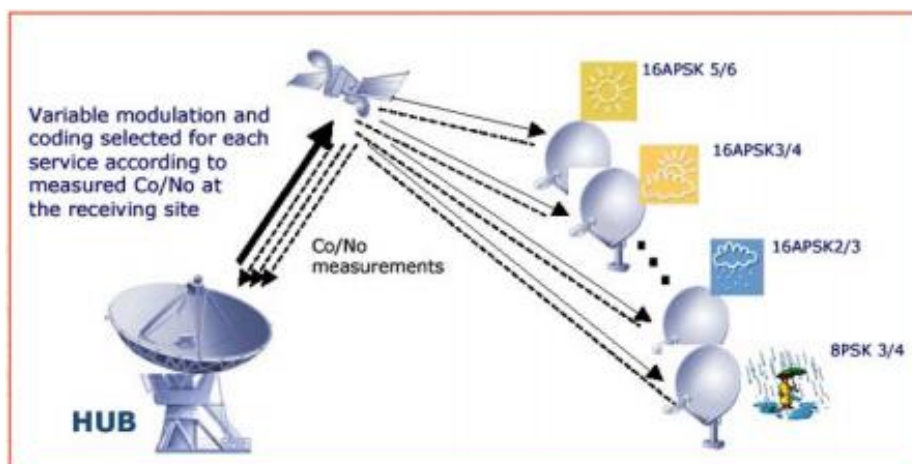
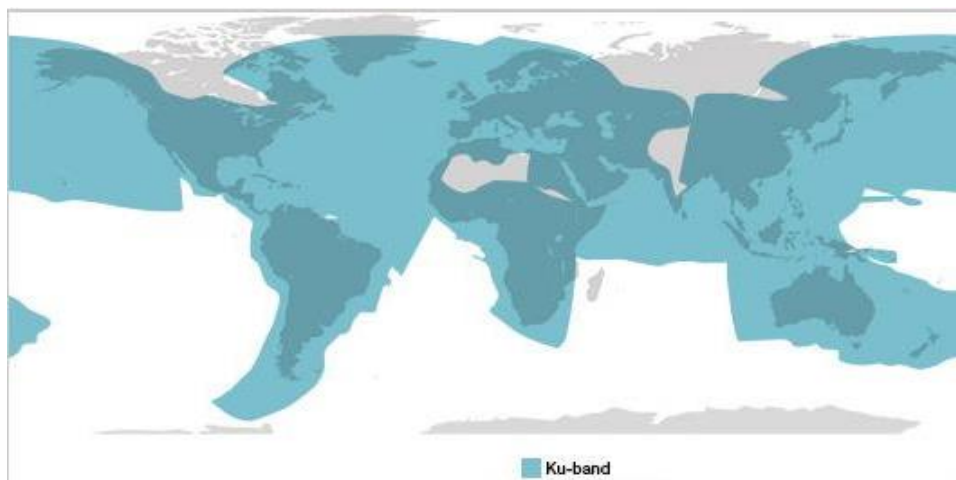


Ilustración 14. Implementación de ACM.

El transporte de información es un servicio que ha tenido una mejora muy significativa desde la puesta en marcha de esta banda. Impulsa las comunicaciones de datos a través de las redes VSAT, que se quedaron algo estancadas debido a la poca capacidad de la banda C. Al mismo tiempo, esta banda de comunicaciones es líder en ofrecer servicios fijos por todo el planeta y principalmente se encarga de la difusión de la televisión y del desarrollo de las comunicaciones móviles en vehículos como pueden ser los barcos. Sus servicios fijos van desde redes educativas, redes empresariales, teleconferencia, radio, televisión digital por satélite, acceso a Internet de gran ancho de banda, medios de comunicación, radares de tráfico [\[29\]](#),...

También fue una novedad la disminución del tamaño de las antenas con respecto a la banda anterior. Al subir en frecuencia, la longitud de onda de la señal es más pequeña, lo que proporciona una menor apertura de antena que atiende a zonas más reducidas de cobertura. Esto supuso un gran avance en las comunicaciones por satélite debido a que los satélites de la banda Ku pueden concentrar la potencia en zonas de cobertura más pequeñas. Las antenas de las estaciones terrenas que transmiten al satélite son muy directivas, por lo que son capaces de centrarse en un único satélite sin interferir a otro que se encuentra separado de él sólo dos grados de distancia.

Por tanto, los tamaños de las antenas oscilan entre los 1,2 m y los 1,8 m [\[16\]](#), y los haces de transmisión se centran en zonas más específicas dando coberturas a zonas más pequeñas.



[Ilustración 15. Coberturas globales en banda Ku.](#)

Se verifica también que al subir en frecuencia, se va aumentando el número de transpondedores que se tiene, lo que supone un aumento en el ancho de banda. Esto conduce a que el coste del satélite por MHz sea menor.

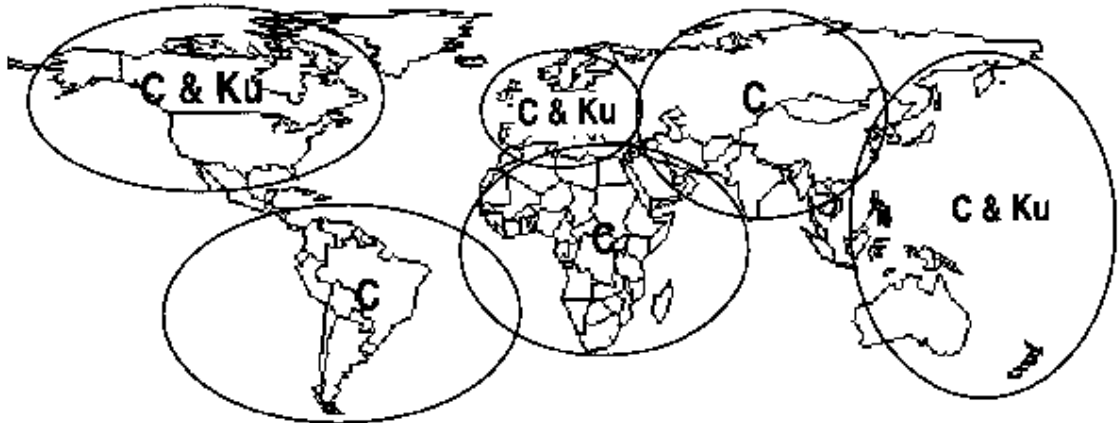
Un ejemplo de satélite emitiendo en banda Ku es el Amazonas 1. Cuenta con 10 transpondedores en esta banda con un ancho de 36 MHz, con una potencia de 9 KW y 2 antenas. Cubre las zonas de toda América, Europa y el Norte de África con diferentes potencias [\[30\]](#).



[Ilustración 16. Cobertura en Europa del satélite Amazonas 1.](#)

Por otro lado, al trabajar con esta banda, no todos son ventajas. Al utilizar frecuencias más altas, se obtiene un aumento notable en las pérdidas que hay que tener en cuenta. No hay atenuaciones debidas a efectos ionosféricos, pero las atenuaciones causadas por los efectos troposféricos ya son considerables debido a que se trabaja con frecuencias mayores de 10 GHz ([ITU p618-11](#)) ([ITU p676-10](#)) ([ITU p840-6](#)). El fenómeno atmosférico que más perjudica a la señal es la lluvia que causa una fuerte atenuación en la señal que se recibe, además de despolarizar la misma ([ITU p618-11](#)), aunque también influye la atenuación por gases atmosféricos. Además hay que tener en cuenta, al igual que en el resto de bandas, las pérdidas por espacio libre, que aumentan considerablemente debido a la frecuencias usadas ([ITU p525-2](#)) [\[31\]](#).

La solución a estos problemas de propagación es transmitir la señal con un aumento significativo de potencia que permita compensar las pérdidas que se van a producir en el trayecto. El inconveniente de aumentar la potencia es que puede interferir con otras señales; en definitiva, emitir en banda C o banda Ku tiene sus ventajas y sus inconvenientes. Normalmente en zonas de climas muy lluviosos es preferible emitir en banda C ya que el conjunto de atenuaciones debidas a la propagación son menores.



[Ilustración 17. Zonas de emisión en diferentes bandas.](#)

1.5 BANDA KA

Esta banda está empezando a surgir hoy en día como solución a los problemas de espacio en la banda Ku. Esto es debido al hecho de que la banda Ku pretende atender a servicios con gran capacidad de ancho de banda para los cuáles esta banda no está preparada. Su rango de frecuencias está comprendido entre los 18 y los 31 GHz. La transmisión en el enlace ascendente se sitúa en torno a los 30 GHz, mientras que en el enlace descendente se sitúa en torno a los 20 GHz [\[1\]](#) [\[*\]](#). Se aprecia un aumento significativo en las frecuencias de las portadoras, lo que lleva a mayores anchos de banda y por tanto a mayor capacidad [\[32\]](#).

Los transpondedores tienen un tamaño de 300 MHz a 600 MHz [\[32\]](#), con canales de 125 MHz o 250 MHz [\[28\]](#). Se trabaja con los estándares DVB-S y DVB-S2 [\[28\]](#) [\[35\]](#). Este último se apoya en las modulaciones adaptativas para proporcionar los servicios

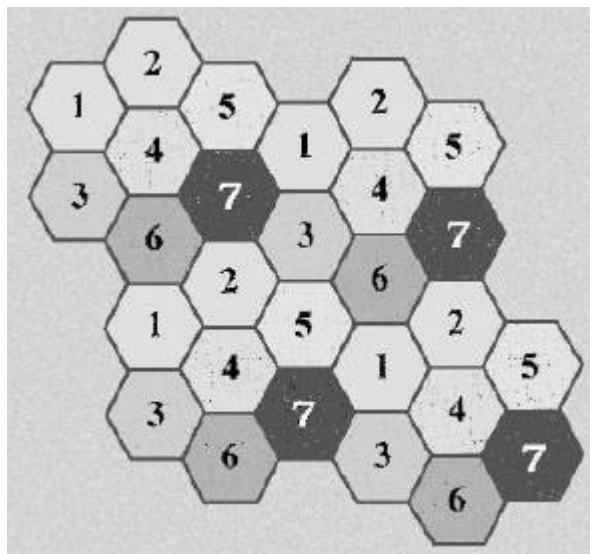
adecuados dependiendo de las condiciones climáticas [32] [33]. Debido a eso se trabaja con modulaciones como QPSK, 8PSK, 16APSK y 32APSK [32] [35]. Las técnicas de acceso al medio que tienen más efectividad son FDMA y TDMA [34].

Esta banda pretende dar un uso más eficaz a sus frecuencias para poder proporcionar no sólo servicios de difusión, sino servicios interactivos, en los que no todos los usuarios reciben la misma información; es por ello por lo que surgen los spot-beams. Los spot-beams son haces puntuales en los que se concentra toda la potencia de transmisión del satélite para cubrir zonas de cobertura más pequeñas. Ello es posible gracias a la utilización de arrays de antenas y a la reutilización de frecuencias. Lo que se pretende con estos haces es dar cobertura sólo a aquellas zonas que lo requieren en cada momento. Esto permite concentrar la potencia sólo en las zonas activas en cada instante. De esta manera se logra tener activos sólo los spot-beams a través de los cuales se desee enviar o recibir información, mientras que el resto se encuentra a la espera. Al aumentar la frecuencia y disminuir la longitud de onda, una antena del mismo tamaño, es mayor en longitudes de onda, lo que conduce a una mayor ganancia y a un haz más estrecho. Como consecuencia, la potencia se concentra en un haz más pequeño. Alimentando la antena con un array de bocinas, es posible proyectar ese estrecho haz sobre distintas áreas de la superficie terrestre obteniendo el típico diagrama de cobertura de los spot-beams.



Ilustración 18. Diferencia entre las tres bandas en cuanto a las antenas y a las zonas de cobertura que se pretenden cubrir con esas antenas.

Un satélite puede contener 48 spot-beams generados por el array que alimenta la antena cubriendo un territorio. El uso de los spot-beams se hace posible gracias a la reutilización de frecuencias. Para que dos spot-beams contiguos no interfieran entre sí, la señal que se transmite a cada uno de ellos debe ser de distinta frecuencia. Por tanto, es necesaria una planificación en frecuencia que evite la utilización de la misma frecuencia en spot-beams contiguos. Además, esta configuración de spot-beams permite aumentar el ancho de banda debido a la reutilización [\[36\]](#).



[Ilustración 19. Ejemplo de reutilización de frecuencias que tendrían los spot-beams.](#)

Esta banda se utiliza principalmente para ofrecer servicios que necesitan mayor ancho de banda que en la anterior, y sobre todo que requieren distribuir informaciones distintas a las distintas zonas de cobertura (spot-beam). Esto nos lleva a un abanico de nuevos servicios por satélite basados en la interactividad y en una gran capacidad de ancho de banda [\[37\]](#).

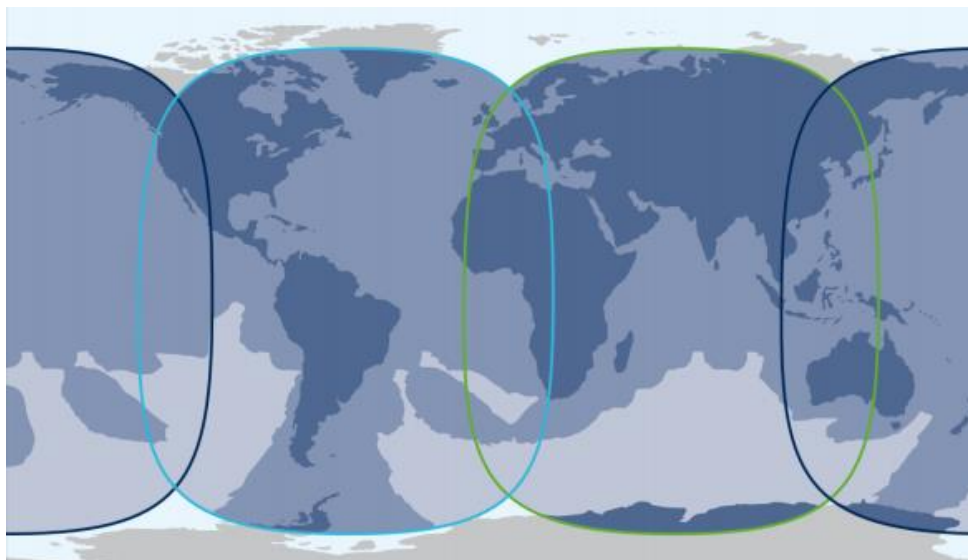


Ilustración 20. Cobertura global en la banda Ka.

Como principales ventajas están el aumento del ancho de banda, debido a que los haces son muchísimo más puntuales y reutilizan frecuencias; y la disminución del tamaño de las antenas. El principal inconveniente es que las pérdidas a tener en cuenta son mucho más grandes que las de la banda anterior.

Las limitaciones en cuanto a la propagación que sufre esta banda son prácticamente las mismas que las de la banda Ku. Los efectos troposféricos como pueden ser la lluvia, los gases atmosféricos, la despolarización, etc, aumentan en mayor medida debido al aumento de frecuencia. Debido a ello, aumenta la potencia de transmisión, aunque esta vez las posibilidades de interferencia con otros sistemas es menor porque son escasos los sistemas que pueden encontrarse en esta banda. Como en las otras bandas, las pérdidas de espacio libre siguen estando presentes, siendo en este caso mayores. Los efectos ionosféricos siguen sin tener influencia debido a las altas frecuencias. Sin embargo, otro efecto muy dañino que surge a estas frecuencias es el centelleo. Este efecto surge a frecuencias mayores de 10 GHz y para ángulos de elevación de las antenas de un máximo de 10° ([ITU p618-11](#)) ([ITU p531-12](#)).

Actualmente, hay discusión sobre que banda es la más idónea para proporcionar servicios por satélite, si la banda Ku o la banda Ka; no obstante, ha quedado demostrado el aumento del uso de servicios de mayor ancho de banda a través de los satélites debido a la reducción de costes que las nuevas tecnologías han conseguido.

Esto hace que las comunicaciones por satélite sean competitivas con las redes terrestres. Existen estudios que demuestran que se prevé un aumento del doble en el uso de las comunicaciones por satélite para el 2020. Se pasaría de los 3 millones de usuarios a los casi 6 millones de usuarios aproximadamente, sobre todo en América del Norte y en Europa Occidental, aunque para ello hay todavía que solucionar dos desventajas de este tipo de comunicaciones, los altos periodos de latencia a los que están sometidas las comunicaciones por satélite y la gran influencia de las condiciones climáticas en las mismas, sobre todo al aumentar la frecuencia [38].



Ilustración 21. Crecimiento previsto de los abonados debido al consumo de ancho de banda.

Posteriormente se hablará acerca de los servicios que se ofrecen en la banda Ka y los satélites que son capaces de proporcionar dichos servicios.

2. SERVICIOS EN BANDA KA.

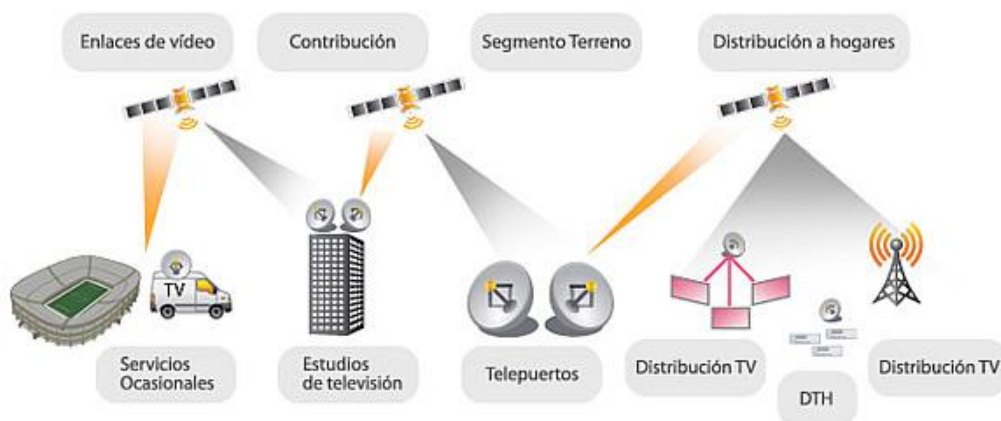
Ante la nueva perspectiva de servicios más sofisticados, y debido al aumento del ancho de banda de los mismos, se requiere más ancho de banda en los satélites. Es por ello que los nuevos despliegues se llevan a cabo en banda Ka.

Existen varios operadores de satélites que proporcionan servicios en banda Ka debido a las nuevas oportunidades de negocio que han surgido gracias al despliegue de nuevos satélites en dicha banda.

A continuación se describirán los servicios que ofrecen los principales operadores de satélite en banda Ka como Inmarsat, Hispasat, Eutelsat o Viasat.

2.1 HISPASAT

Hispasat es un operador de satélites que distribuye a través de su flota más de 1250 canales de televisión y radio, ofreciendo cobertura en América, África y Europa. Actualmente los servicios que ofrece este operador cubren varias demandas, desde los servicios audiovisuales, servicios de datos, servicios de emergencia, telemedicina, hasta servicios orientados a sectores concretos como la minería o el petróleo [\[39\]](#).



[Ilustración 22. Ejemplo del conjunto de servicios que ofrece Hispasat.](#)

- Servicios Audiovisuales.

Dentro de los servicios audiovisuales se encuentran todos los relacionados con la contribución y distribución de televisión como:

- Ultra Alta Definición.

Los servicios de Ultra Alta Definición requieren mayor ancho de banda de transmisión debido a que la resolución de la televisión de ultra alta definición multiplica por cuatro la definición de las televisiones actuales. Ello hace que la calidad de imagen sea muchísimo más alta que la de una televisión normal. Como este tipo de servicios envía mucha cantidad de información, lo que significa un gran ancho de banda, el satélite es la manera perfecta de lograrlo. La potencia de los satélites de Hispasat permite la transmisión de estos contenidos gracias a su diseño orientado a los servicios DTH.

Los satélites que transmiten para dar cobertura a este servicio son el satélite Hispasat 1D, el Hispasat 1E y el Amazonas 3. Hispasat ha puesto en marcha el canal de UHD Hispasat 4K, que emite en abierto y le permite probar e investigar al mismo tiempo, los nuevos avances en transmisión de datos y otras tecnologías.

Actualmente, el servicio 4K se ofrece sobre el transpondedor número 139 del satélite Hispasat 1E en banda Ku, pero como este satélite se apoya a su vez en la banda Ka, también proporciona apoyo a este servicio. Además, sirve de apoyo del satélite Amazonas 3 que tiene transpondedores en banda Ka [\[40\]](#).

Un ejemplo de ello es la emisión de los partidos de futbol del mundial de Brasil que hizo el satélite Amazonas 3 sobre Latinoamérica [\[41\]](#).

- Direct To Home (DTH).

Tradicionalmente Hispasat viene ofreciendo diversos servicios DTH en banda Ku debido a que es una manera de transmitir más económica para los clientes por su fácil implementación. La banda Ka también se usará para ampliar este tipo de servicios. Un ejemplo actual de este servicio es la televisión por satélite.

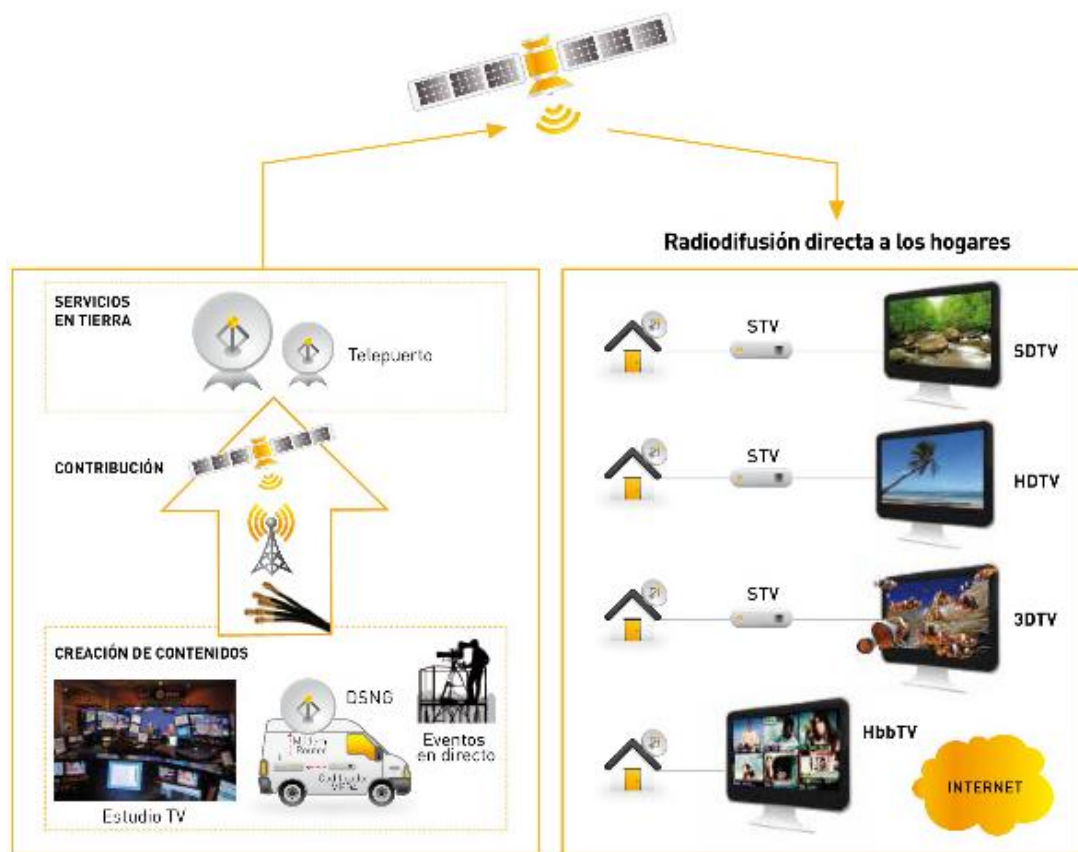


Ilustración 23. Ejemplo de los servicios de la distribución DTH.

Hispasat oferta este servicio para dar cobertura a España y el Sur de América a través de satélites como Hispasat 1E y el Amazonas 1 y 3. Es un servicio que actualmente se ofrece en banda Ku, pero se empieza a hacer el traslado a banda Ka con el objetivo de ofrecer mayor cantidad de canales con mayor calidad [\[42\]](#).

- Distribución de contenidos audiovisuales.

Esta empresa también se encarga de la distribución y contribución de contenidos audiovisuales a través de telepuertos o de cualquier estación fija o terrena. Ejemplos de servicios de distribución son la retransmisión de eventos en directo y la distribución de contenidos de radio.

Para llevar a cabo la distribución de servicios de gran cantidad de información a un conjunto de ubicaciones se transmite en formato multicast.

Un ejemplo, es la ayuda que va a ofrecer el satélite Amazonas 3 para la retransmisión de los Juegos Olímpicos de 2016 en Brasil [\[43\]](#) y otro es la distribución de eventos en directo y otros servicios audiovisuales con la ayuda del operador Spacenet a un conjunto de 500 salas de cine en México [\[44\]](#).

- Servicios empresariales.

Gracias a los satélites, Hispasat permite la creación de redes empresariales que dan servicios a las distintas ubicaciones dentro de una empresa, consiguiendo un rápido y eficaz despliegue que cubre las necesidades de esas comunicaciones. Otros usos pueden ser la gestión de recursos, redes de telecontrol o comunicaciones para vuelos no tripulados. Esto se basa en tecnologías VSAT, enlaces punto a punto y punto a multipunto. Son servicios que ya se vienen proporcionando en banda Ku, pero gracias a los nuevos satélites en banda Ka, se prevé un mayor desarrollo del mercado de los mismos, gracias al aumento de prestaciones que el uso de esta banda traerá consigo.

- Servicios de Telecomunicaciones para zonas de difícil acceso.

Hoy en día se han desarrollado las comunicaciones por satélites para proporcionar comunicación a las zonas rurales que están más aisladas dándoles acceso a telefonía e Internet.

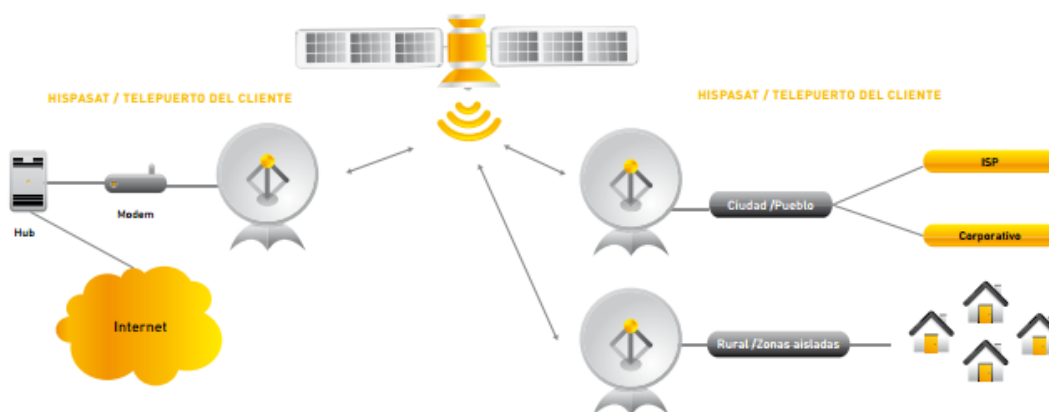


Ilustración 24. Ejemplo de red en zonas de difícil acceso – Enlace troncal.

- Emergencias y seguridad y catástrofes.

Una ventaja de los satélites es que son un medio muy apropiado para comunicaciones donde la información sea de alta seguridad, ya que es un medio muy seguro. También son útiles en el caso de situaciones de emergencia o catástrofes, donde habitualmente las comunicaciones terrestres quedan fuera de servicio. En estos casos, los satélites juegan un importante papel a la hora de prestar y restablecer las comunicaciones. Estos servicios son posibles gracias a la banda Ku, que es la principal banda que opera en este ámbito. No obstante, otros operadores ya están usando la banda Ka en este área.

- Gobierno.

Hispasat también ofrece servicios en banda Ka a nuestro gobierno como puede ser el Ministerio de Defensa a través de satélites como el Spainsat y el Xtar-EUR que también aportan servicios a los gobiernos de otros países.

Con estos satélites se pretende dar mejores soluciones a la hora de difundir y desarrollar nuevas tecnologías para ofrecer ayuda o simplemente para la mejora de estrategias.

2.2 INMARSAT

Es un operador de satélites que en los últimos años ha desarrollado el servicio Global Xpress, entre otros. El Inmarsat Global Xpress es una red capaz de proporcionar banda ancha de alta velocidad cuyo principal objetivo es ofrecer conectividad en todo el mundo. Gracias al conjunto de satélites de la flota Inmarsat-5 y a la banda Ka junto con la integración de la banda S, es posible ofrecer servicios seguros y fiables a través de terminales más compactos y asequibles. En este momento, sólo se han lanzado dos de los tres satélites de la flota por lo que la cobertura no es todavía global. Todo ello será posible gracias a que los satélites trabajando en banda Ka operan con 89 spot-beams muy estrechos para permitir unas velocidades muy altas para la transmisión de datos.

A esto se le añade también que tienen 6 haces direccionales con los que se puede aportar una capacidad adicional a la que ya se tenía para actuar como refuerzo en aquellas zonas donde más se necesite. Los terminales disponen de varios tamaños, desde los 30 cm hasta los 2,5 m. Los principales sectores a los que va dirigido este servicio son las comunicaciones móviles dedicadas a ámbitos militares y gubernamentales. Actualmente 2 de los tres satélites de la flota están ya en órbita proporcionando servicio a Europa, Oriente Medio, África, Asia y América. Con el lanzamiento del tercer satélite en 2016, la cobertura será global [\[45\]](#) [\[46\]](#).

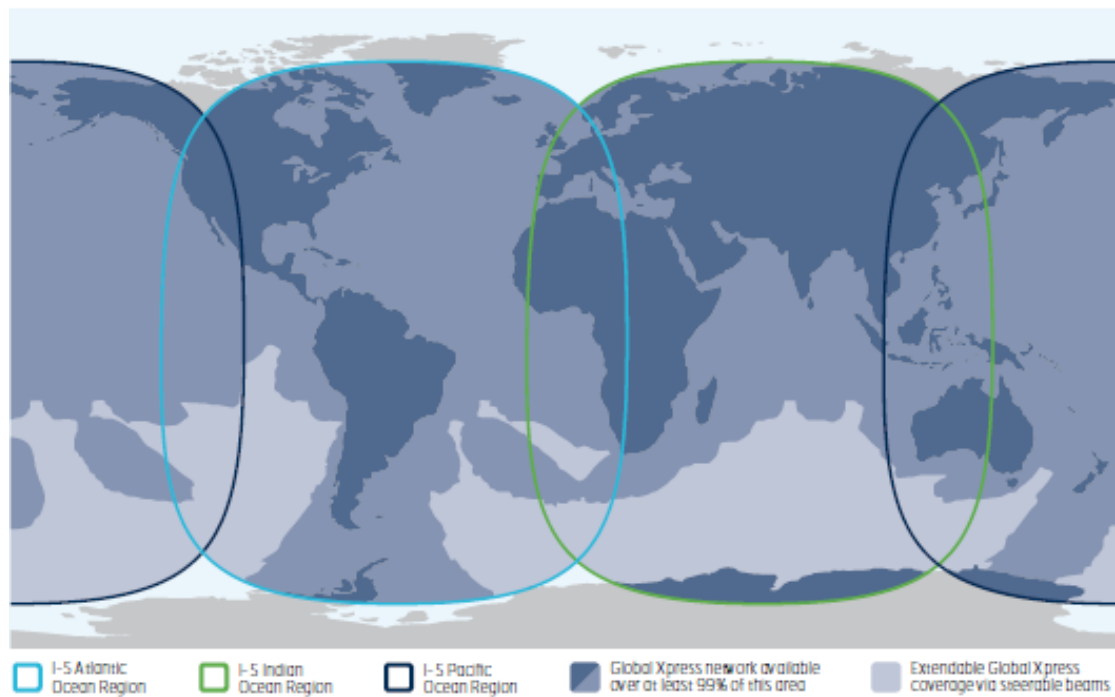
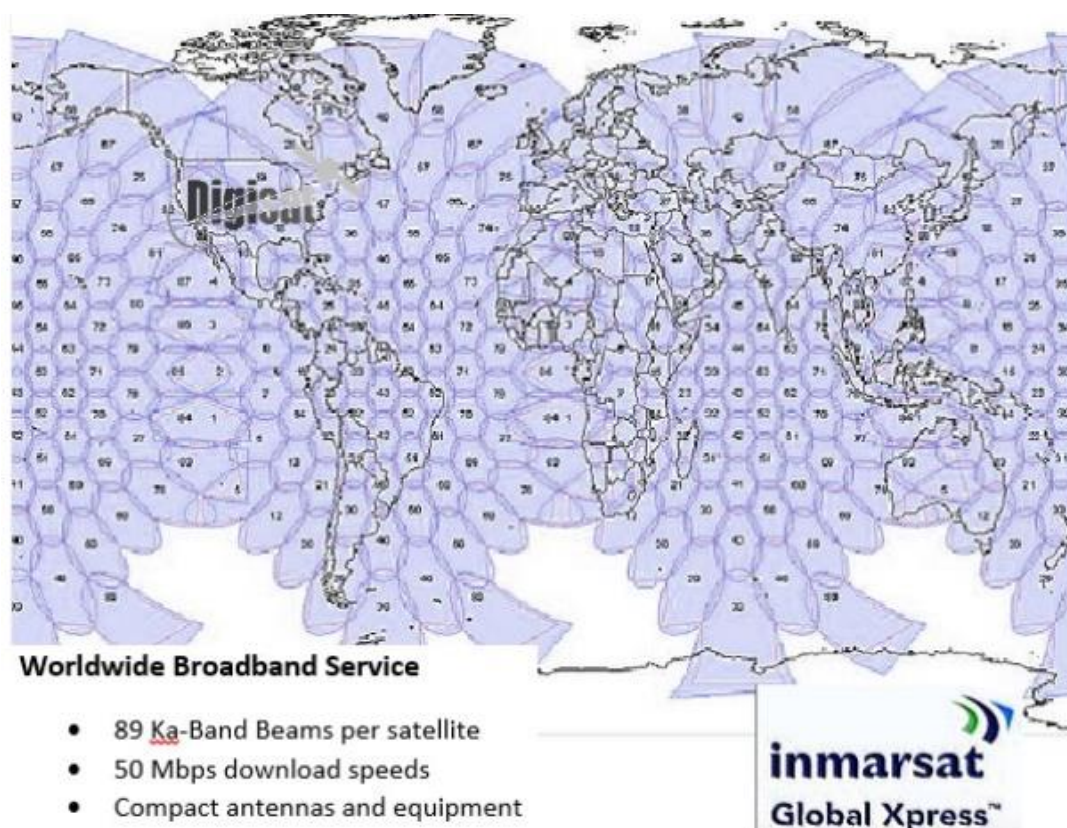


Ilustración 26. Cobertura del servicio Global Xpress a través de los satélites de Inmarsat-5.



[Ilustración 27. Cobertura del servicio Global Xpress a través de los spot-beam de los satélites Inmarsat-5.](#)

Este servicio de Inmarsat ofrece velocidades de 50 Mbps en sentido forward y 5 Mbps en sentido return en los terminales que se sitúan tanto en aviones como en barcos, vehículos o en sistemas VSAT terrestres.

El terminal EXPLORER 3075 GX es uno de los primeros que se diseñan para cubrir las necesidades que pretende satisfacer el servicio Global Xpress y se usa para cubrir las áreas de la huella del primer satélite de Inmarsat-5, que es el que cubre todo el Océano Índico (huella de color verde en la ilustración número 28) [\[47\]](#).

Algunas áreas a las que va dedicado este terminal son servicios militares, seguridad, emergencias, televisión, telemedicina,... y algunas de las aplicaciones son proporcionar continuidad a los negocios o videoconferencias a distancia. Es un terminal ligero, robusto y muy portátil. Trabaja con frecuencias de recepción de 19,2 GHz a 20,2 GHz, y frecuencias de transmisión de 29 GHz a 30 GHz; con ganancias en torno a 43 dBi, G/T de 17,3 dB/K y PIRE de 51,5 dBW [\[48\]](#).

2.3 VIASAT

Es otro operador de satélites que también proporciona banda ancha fija con características similares a las que ofrece Hispasat. Algunas de estas características son:

- Aumento de la capacidad del sistema para reducir costes.
- Fácil implementación de servicio tanto en los operadores como en los clientes.
- Gran capacidad de captar a los clientes.

El sistema de banda ancha que implementa ViaSat en banda Ku se denomina ViaSat SurfBeam, y es un sistema que ofrece servicios de banda ancha rápidos y fiables como pueden ser servicios residenciales, empresariales, comerciales y gubernamentales. Es una red que se creó bajo el concepto de DTH y se basa en el estándar DOCSIS 1.1 con terminales exteriores que son unos módem de bajo coste que proporcionan QoS y un máximo de 100 Mbps de velocidad [\[49\]](#).

A partir de este primer sistema, se desarrolló su evolución y se creó el sistema SurfBeam 2 que implementa ya la banda Ka. Este es capaz de implementar los servicios de banda ancha de manera más rápida y rentable. Está diseñado para ofrecer, al igual que su predecesor, una amplia gama de servicios a viviendas, empresas y a usuarios móviles. Su principal objetivo es abarcar todo el mercado de consumidores de banda ancha a través de terminales más cómodos en cuanto al manejo de la red. Esta red está ahora en pleno funcionamiento a través de satélites de alto rendimiento como el KA-SAT, y proporciona características como fácil implementación para el cliente, grandes velocidades de datos, gestión de red, costes bajos, gran fiabilidad,... dando al cliente mayores soluciones frente a otras redes terrestres. Actualmente los sistemas SurfBeam están muy implantados en zonas como EEUU, Canadá y Europa con más de 800.000 terminales instalado [\[50\]](#).

ViaSat pretende mejorar los servicios que ofrece al cliente mediante la creación de sistemas que sean capaces de aprovechar todos los recursos de sus satélites. La combinación de sus satélites con el sistema SurfBeam 2, basado en DVB-S2, es capaz de proporcionar velocidades de 250 Gbps para 5 millones de usuarios, que es diez veces más de lo que se daba anteriormente con el primer sistema [\[51\]](#).

Los terminales que se sitúan en las residencias de los clientes son sencillos y fáciles de implementar. Como es habitual en los equipos receptores de comunicaciones por satélite, dichos terminales están compuestos de dos unidades, una situada en el exterior (ODU) y otra situada en el interior (IDU). El terminal interior permite la navegación rápida a través de Internet, la compartición y descarga de archivos, la transmisión de vídeo,... con una velocidad de descarga de 40 Mbps y una velocidad de subida de 10 Mbps. Utiliza modulación y codificación ACM y control automático de potencia. Para las conexiones a Internet se basa en el estándar TCP y soporta un amplio rango de temperaturas (0° a 40°). El terminal exterior opera entre frecuencias de 18,3 GHz y 20,2 GHz para el enlace de subida y entre 28,1 GHz y 30 GHz en el enlace de bajada; PIRE de 48,4 dBW y G/T de 17,5 dB/K [52]. Ambos terminales se conectan a través de un único cable coaxial y el terminal se conecta al resto de dispositivos a través de una conexión Ethernet estándar.



Ilustración 28. Diagrama de red para una vivienda.

También se encuentran disponibles terminales portátiles que integran el IDU y el ODU en un único dispositivo que se puede utilizar para la recolección de noticias a través del satélite en cualquier parte del mundo donde llegue la cobertura del satélite [\[51\]](#).



[Ilustración 29. Terminal portátil.](#)

Un satélite que se encarga de ofrecer servicios de gran capacidad es el satélite ViaSat-1, que aumenta diez veces el rendimiento de los sistemas de la banda Ku, proporcionando velocidades mayores a un coste mucho menor. Pero, este satélite sólo proporciona servicios al 70% de la población de EEUU. En 2016 se pretende lanzar el satélite ViaSat-2, que combinado con el primer satélite será capaz de proporcionar más ancho de banda a un mejor precio dando siete veces más cobertura de la que daba anteriormente [\[53\]](#).

Hoy en día hay más de dos millones de terminales que ofrecen servicios en EEUU, Canadá, Europa y Australia, sobre todo ofreciendo servicios de banda ancha en el ámbito residencial; y también proporcionan gran cantidad de servicios a empresas y ofertan otros servicios móviles. Por otro lado, se sigue trabajando para que este sistema siga evolucionando para poder lograr que todos los rincones del mundo estén comunicados a través de una red que no experimente latencia dando velocidades de Terabits [\[54\]](#).

Algunas aplicaciones que ofertan los terminales de ViaSat son: creación de redes con acceso de alta velocidad, aplicaciones M2M para el control y monitoreo de otros sistemas, extensión telefónica para operadores móviles, etc [\[55\]](#). Un ejemplo de ello son los terminales fijos o semifijos para proporcionar Internet de alta velocidad. Estos

se encargan de crear una red sencilla que es capaz de ofrecer acceso a Internet en zonas donde no son capaces de llegar las redes terrestres, o donde su uso está muy limitado. Esto es una gran ventaja para sectores como los del petróleo, gas, medicina, emergencias, etc [\[56\]](#). Se trata de dispositivos con antenas de varios tamaños en función de las necesidades, desde las más portátiles con 75 cm de diámetro, hasta antenas para ubicaciones fijas 1,2 m de diámetro. La red creada proporciona una velocidad de 50 Mbps de bajada y de 20 Mbps de subida, y soporta tanto la navegación web, como el streaming de vídeos, transferencia de archivos, etc. Tienen una potencia PIRE en torno a los 50 dWi y una G/T entorno a los 20 dB/K, según la antena utilizada [\[57\]](#).

2.4 EUTELSAT

Es uno de los principales operadores de satélites que ofrece servicios directamente a los usuarios finales a través de Eutelsat Communications. Proporciona cobertura global a través de más de 37 satélites que forman parte de su flota. Algunos de sus servicios son los siguientes [\[58\]](#):

- Direct To Home (DTH).

Entre los servicios de difusión se encuentran los servicios Direct To Home, que ofrecen servicios de radiodifusión como la televisión a más de 250 millones de hogares. A través de 34 satélites se transmiten 5800 canales de televisión de los cuales 600 canales son de alta definición y 1100 son estaciones de radio. Además el servicio DTH proporciona servicios de televisión interactiva (PayperView, PushVideoonDemand...). Todo ello se hace posible gracias al bloque de recepción inteligente (Smart LNB) que alimenta a la antena y establece mediante un transmisor embebido un enlace de retorno en banda C, Ku o Ka. Algunas características de este dispositivo es que se sitúa en los hogares con un bajo coste y es compatible con satélite, soporta aplicaciones con grandes anchos de banda y seguridad, combina las frecuencias de las bandas C, Ku y Ka, y se basa en estándares como el DVB-S2 [\[59\]](#).

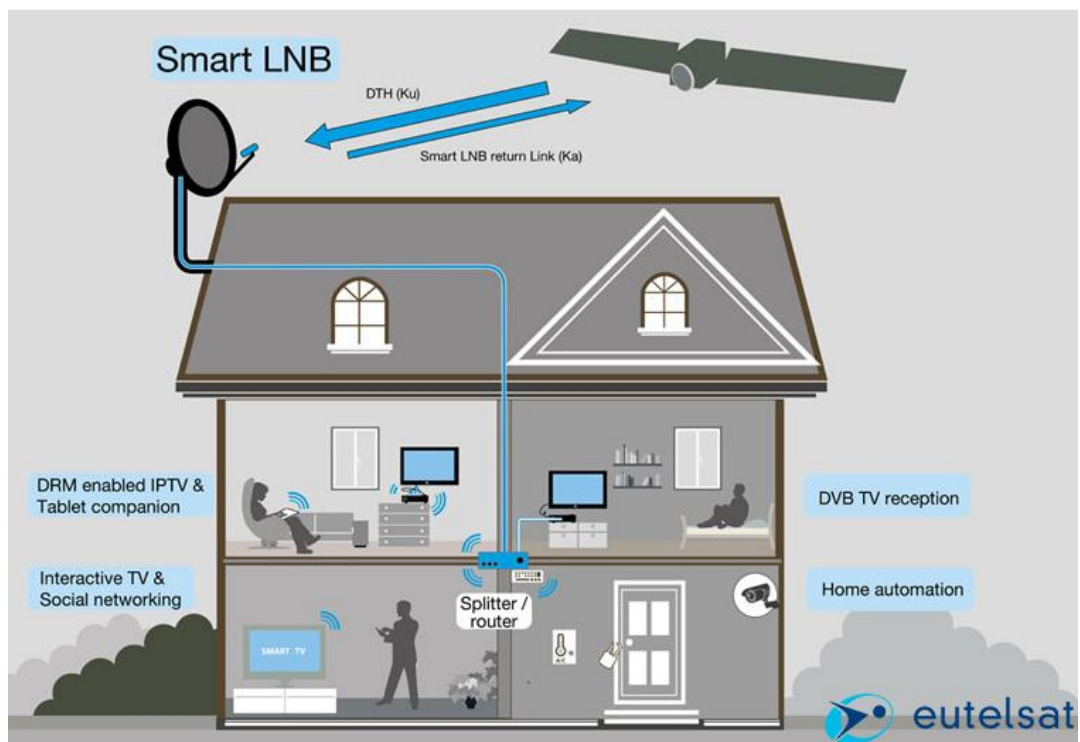


Ilustración 30. Usos de los servicios DTH.

Para proveer acceso a Internet y comunicación entre redes se utilizan también este mismo sistema con el mismo dispositivo. Este dispositivo proporciona un enlace de retorno de 160 Kbps y combina el uso de las frecuencias de las bandas Ku y Ka. Además, se basa en los protocolos como el TCP/IP.

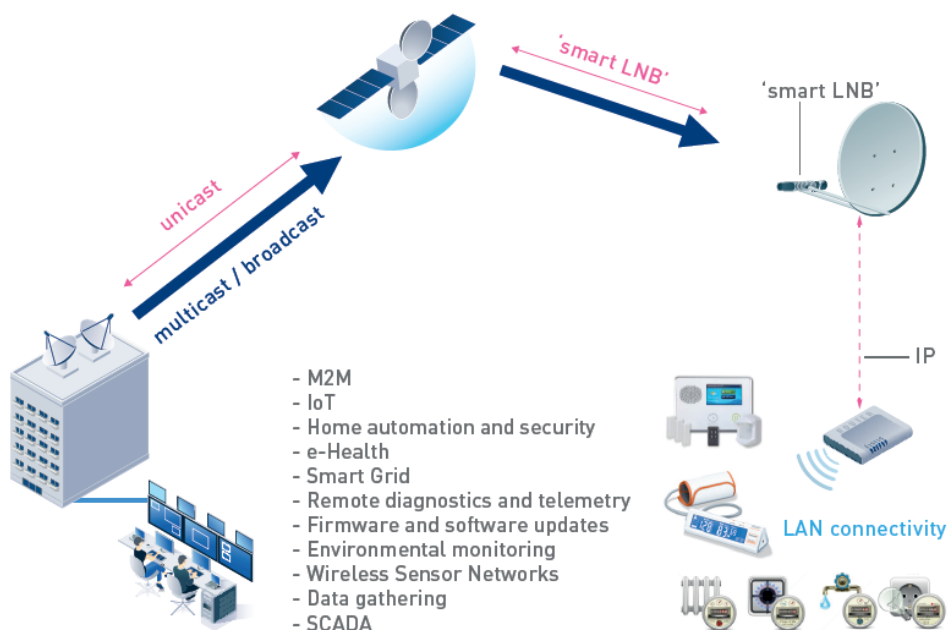


Ilustración 31. Interconexión de dispositivos inteligentes mediante antenas Smart LNB.

- Televisión Digital Terrestre.

Actualmente hay muchos países que tienen totalmente integrado el servicio de televisión mediante el satélite, y otros muchos están en proceso de alcanzarlo.



- Televisión de Alta Definición.

La llegada de la televisión de alta definición supuso un aumento considerable en el número de canales, que llegaron a la cifra de 580 canales en 2014. Esto también provocó que se instalara rápidamente en los hogares desarrollando como consecuencia la industria de Eutelsat en gran medida. Satélites como puede ser el Eutelsat 16A actualmente ofrece cobertura a Europa en banda Ka; pero la gran mayoría de los contenidos se siguen transmitiendo en banda Ku.

- Ultra Alta Definición.

La televisión de ultra alta definición es el futuro. El mercado de clientes aumenta debido a que aumenta la calidad de imagen y el tamaño de las pantallas. Hasta la fecha, se ha probado su calidad emitiendo eventos deportivos o de otro tipo como partidos de fútbol, con un buen resultado. Es un servicio que se ofrece en banda Ku, pero gracias a las ventajas que tiene la banda Ka será uno de los servicios que se proporcionarán en dicha banda debido a la disponibilidad de gran ancho de banda y a los estrechos anchos de haz de cobertura (spot-beams) [\[60\]](#).

- Cine Digital.

Debido a que los satélites son una forma muy segura de transmitir datos de forma masiva, se han creado empresas, como la belga DSAT, que proporcionan cine a través de satélites, en este caso de los Eutelsat. Actualmente hay más de 700 lugares en 20 países europeos que proporcionan contenidos multimedia en salas de cine. En cada uno de ellos se reciben contenidos tanto en directo como pregrabados a través de enlaces de velocidad 140 Mbps de descarga, para proyectarlos en las distintas salas ubicadas en la localización.

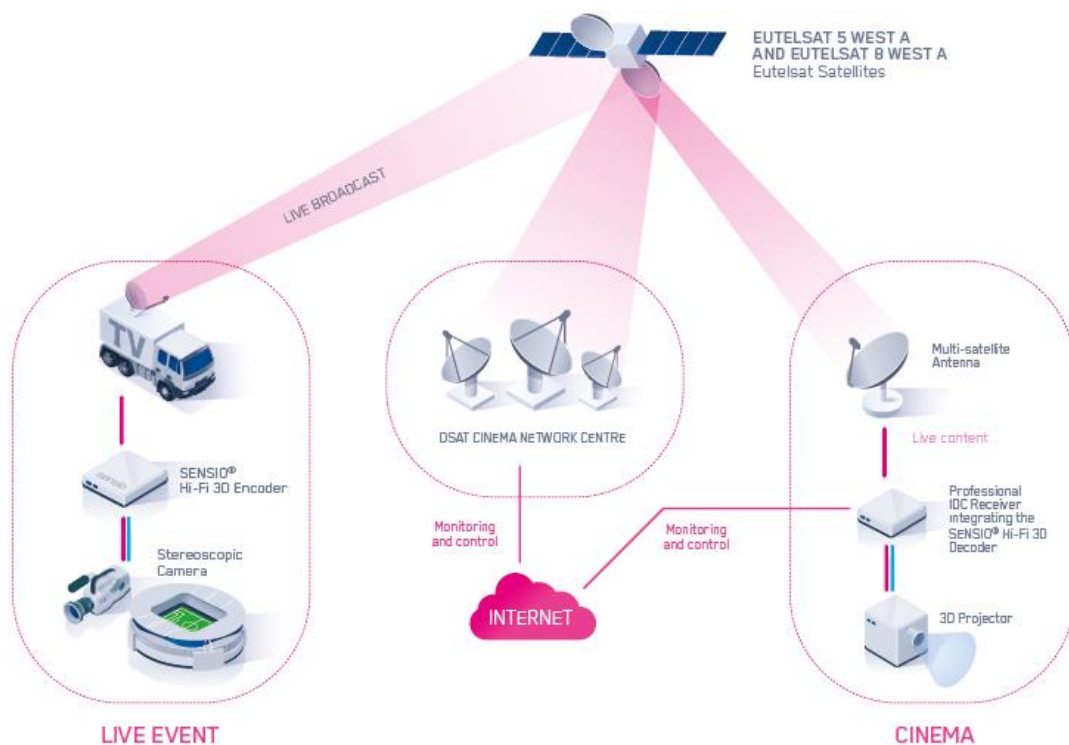


Ilustración 33. Transmisión de contenidos en directo para la proyección en cines digitales.

Gracias a este servicio es posible la retransmisión de diferentes tipos de eventos en directo, desde deportivos a culturales (conciertos, óperas, obras de teatro, musicales...) a todo el mundo. Actualmente es un servicio que se ofrece en frecuencias de la banda Ku, pero al igual que el servicio anterior podrá proporcionarse también en banda Ka. En general, todos los servicios de difusión son susceptibles de proporcionarse en banda Ka con mayores ancho de banda (alta definición, UHD...), aunque los servicios que marcan la diferencia en banda Ka son los servicios interactivos de banda ancha, posibles gracias a la combinación de los spot-beams y el mayor ancho de banda disponible.

- Easy IP.

Es un servicio que permite la ampliación del acceso a Internet de alta velocidad para dar conectividad a las empresas, oficinas y complejos residenciales en África y en el Sur de América, donde las redes terrestres no están suficientemente desarrolladas como para proporcionar estos servicios. También ofrece mayor ancho de banda para servicios de acceso a Internet a países más desarrollados. Es fácil de instalar, muy flexible en su configuración y consigue grandes rendimientos con terminales de precios competitivos. Todo ello hace que sea una solución adecuada para el despliegue de redes en estas zonas debido a su bajo coste y a que es capaz de cubrir grandes áreas de cobertura.

A través de una antena de 1 m y un módem conectado a un ordenador, se obtiene acceso a Internet con velocidades de 10 Mbps de descarga. Una de sus ventajas es que permite evitar el establecimiento de acuerdos con varios operadores, incluso aunque las distintas sedes estén ubicadas en lugares distantes, lo que hace el sistema altamente eficiente. Se puede controlar la red desde un punto central y se optimizan costes. Está configurado bajo el estándar DVB-S2 y a través del satélite Eutelsat 16A trabaja en banda Ka sobre toda Europa y el Norte de África [\[61\]](#).

- TOOWAY.

Es un servicio que proporciona conectividad en banda ancha a través del satélite KA-SAT. Da servicio tanto a consumidores como a empresas en países de toda Europa, África del Norte, Turquía y Oriente Medio para compensar la falta de conectividad que proporcionan las redes terrestres, debido generalmente a efectos de la orografía. A través de este servicio se transmiten datos con velocidades muy altas (22 Mbps de bajada y 6 Mbps de subida) a partir de unos sistemas de integración pequeños en las residencias de los clientes. Este equipo comprende una antena de 77 cm con un LNB y un módem que se conecta a un ordenador.

Este servicio está posicionado como uno de los servicios que permitirán cerrar la brecha digital. Recordemos que el objetivo 2020 es conseguir que todos los rincones del mundo estén conectados sin importar distancias a través de los sistemas digitales [\[62\]](#).



[Ilustración 34. Antena utilizada para proporcionar el servicio Tooway.](#)

- NewsSpotter.

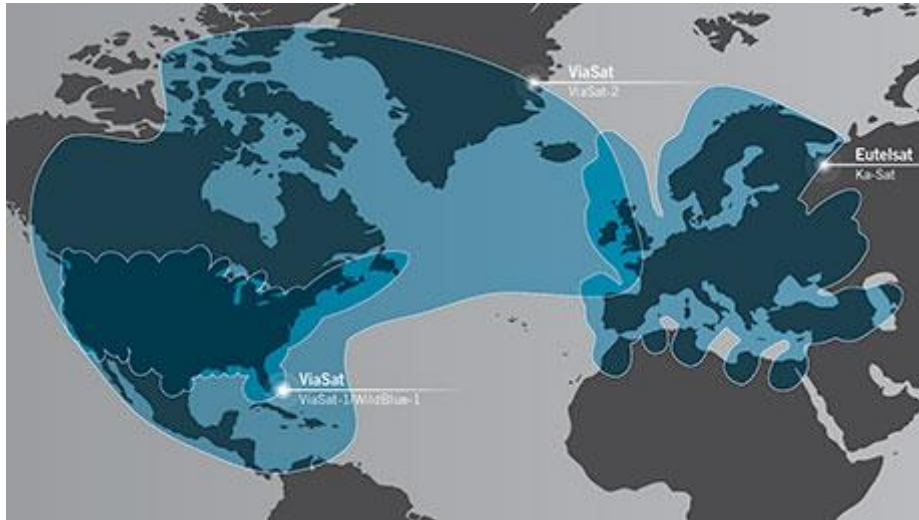
Es el servicio de Eutelsat que se encarga de la recopilación y difusión de noticias y datos en toda Europa a través del satélite KA-SAT. Trabaja con equipos sencillos y ligeros para conseguir la transmisión y recepción en tiempo real de cualquier tipo de archivo, dato o vídeo. A través de una aplicación, es posible reservar el ancho de banda necesario para la transmisión desde cualquier punto del planeta con cobertura del satélite. Todo ello lo hace muy adecuado para la transmisión de noticias desde el lugar donde se genera en cualquier parte del mundo. Entre sus características cabe destacar los precios competitivos, la ligereza de los equipos, su fácil implementación, las altas tasas de velocidad y la posibilidad de reserva de ancho de banda [\[63\]](#).

- VNO.

Este servicio, proporcionado a través del satélite KA-SAT, está orientado a operadores y permite la creación de redes virtuales adaptadas con el objetivo de que cada operador pueda ajustar su oferta de servicios según el mercado al que se dirige. Para ello, permite la división y la asignación de los recursos para los distintos usuarios finales. Es posible también configurar las redes a distintas velocidades y diferentes niveles de QoS [\[64\]](#).

Muchos de los servicios que se han comentado anteriormente juegan un importante papel tanto para las empresas como para los gobiernos, que necesitan establecer comunicaciones fiables por todo el mundo para la transmisión de diferentes servicios. Para ello, se necesitan coberturas globales como las que proporcionan la flota de satélites de Eutelsat, ViaSat e Inmarsat. También es importante el reto de la seguridad y la fiabilidad a un coste razonable que permita el establecimiento de nuevas redes que mejoren las comunicaciones a nivel global. Las nuevas redes VSAT establecidas nos acercan a un mundo donde la brecha digital sea un hecho pasado, y donde servicios como la educación a distancia, la telemedicina, la vigilancia a distancia, la recuperación de desastres o las comunicaciones a distancia sean un hecho independientemente de la zona del mundo en la que uno se encuentre.

*** En 2014, Eutelsat y ViaSat hicieron un acuerdo por el cual conectaron las redes de ambos operadores; permitiendo así el acceso a los servicios de ambas. Los satélites que forman este acuerdo son el satélite KA-SAT de Eutelsat, y el satélite ViaSat-1 de ViaSat. El conjunto de ambos satélites proporciona la mayor capacidad en banda Ka hasta el momento y ha permitido el acceso a una red de amplios servicios, con mayor capacidad y cobertura. El conjunto de satélites da cobertura a todo el Norte de América, Europa y el Mediterráneo, incluyendo buena parte del Atlántico Norte. Este acuerdo también se extiende a futuros satélites como el ViaSat-2 que contribuirá a un aumento de la cobertura y de los recursos [\[65\]](#).



[Ilustración 35. Cobertura conjunta surgida del acuerdo entre Eutelsat y ViaSat.](#)

2.5 INTELSAT

Intelsat es también un operador de satélites, líder en el sector. Al igual que los anteriores, también es capaz de proporcionar servicios de comunicaciones tanto en el sector empresarial, como en el gubernamental, defensa, operadores de telecomunicaciones o proveedores de servicios de redes de datos e Internet.

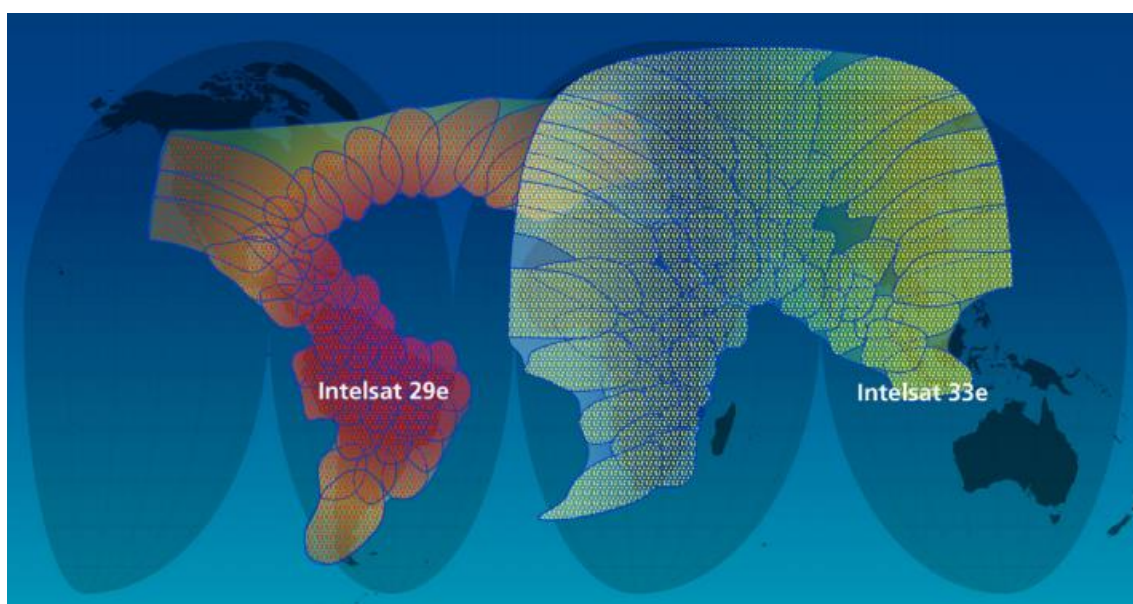
Intelsat cuenta con una flota de más de 50 satélites que son capaces de cubrir el 99% de las regiones pobladas de la Tierra. Además de la flota de satélites, existe una infraestructura terrestre formada por una serie de telepuertos y una red de fibra óptica llamada IntelsatONE. La combinación de esta red y la flota de satélites permiten proporcionar servicios de manera rápida y segura a bajo coste.

En banda Ka, se está creando una nueva infraestructura que se despliega tanto por satélite como a nivel terrestre, Intelsat Epic^{NG}. Esta nueva red representa un gran avance, ya que gracias a la nueva tecnología soportada en la banda Ka, es posible obtener un mayor rendimiento y crear un abanico mayor de soluciones diferenciadas adaptadas a las necesidades de cada cliente. La mayor de sus ventajas es que permite proporcionar un alto rendimiento con mayor flexibilidad y seguridad a un menor precio, completando la red actual, y permitiendo así la compatibilidad entre ambas.

Dicha compatibilidad es clave para permitir a cada usuario ampliar su capacidad de red a partir de las ya establecidas en las bandas anteriores (C y Ku).

Es una red muy fiable debido a su cobertura global. Además, permite a los clientes, en general operadores de telecomunicaciones y proveedores de servicios, que desarrollen sus propias ofertas de servicios. Los costes dependerán de la aplicación que utilicen y de la región en la que están situados. Esta nueva infraestructura trabaja no sólo en banda Ka, sino también en banda Ku y C. Es capaz de proporcionar hasta 10 veces más de capacidad que la red IntelsatONE, proporcionando velocidades de entre 25 Gbps a 60 Gbps. El despliegue en banda Ka, gracias a los spot-beams, permite que la combinación de estos mejoren la calidad de la recepción de los datos en áreas más concretas; y la combinación de los haces con combinación de las diferentes frecuencias hacen que se amplíen las áreas de cobertura.

La red estará compuesta en un principio por dos satélites que se pondrán en servicio en 2015 y 2016, el Intelsat 29e y el Intelsat 33e. A lo largo del tiempo se podrá desplegar más la red en función de las necesidades y de la utilización de la misma [\[66\]](#) [\[67\]](#).



[Ilustración 36. Cobertura de la red Intelsat Epic^{NG}](#)

Intelsat Epic^{NG} intenta reinventar las redes inalámbricas de banda ancha, creando nuevos diseños de red para ofrecer servicios fijos en redes 3G y 4G, permitiendo el uso de aplicaciones de altas velocidades y ofreciendo flexibilidad en las soluciones de red mediante la combinación de las bandas C, Ku y Ka. El objetivo final es proporcionar nuevas oportunidades de mercado ampliando la gama de servicios que pueden ofrecer los satélites.

Para lograr esto, Intelsat Epic^{NG} ofrece alto rendimiento para el soporte de esos grandes anchos de banda, actúa como principal operador en zonas remotas mientras que, al mismo tiempo, puede servir como copia de seguridad para las redes en zonas densamente pobladas y dispone de asignación dinámica de ancho de banda, permitiendo así que los servicios se adapten mejor a las diferentes necesidades [\[68\]](#).

En lo referente a la distribución de contenidos multimedia, el satélite proporciona libertad en cuanto a la personalización de los servicios. Gracias a ello, se puede permitir la distribución de contenidos tanto a grandes como a pequeñas audiencias. Gracias a la banda Ka, la entrega de esos servicios se hacen de manera específica sobre ciertas regiones a través de haces pequeños y con un coste menor debido a la reutilización de las frecuencias [\[69\]](#).

Las ventajas de la banda Ka también se ven reflejadas en las aplicaciones gubernamentales y de defensa, pues en este entorno también proporcionan altos rendimientos, flexibilidad y seguridad, al combinarse con la red terrestre actual IntelsatONE [\[70\]](#).

*** El servicio ofrecido por Intelsat va más allá de las comunicaciones por satélite, pues gracias a su infraestructura global terrestre que posee, ha creado una red de banda ancha a nivel mundial, que permite a los diferentes operadores de comunicaciones de las distintas zonas, crear sobre esta infraestructura los servicios que su mercado demande.

3. TIPOS DE SATÉLITES EN BANDA KA.

Los satélites se pueden dividir principalmente en dos grupos bien diferenciados: satélites Geoestacionarios y No Geoestacionarios.

Los satélites Geoestacionarios se encuentran en una órbita situada a 36000 Km de distancia sobre la superficie terrestre. Están situados en Latitud cero (sobre el Ecuador) y con sólo 3 satélites se cubriría toda la superficie de la Tierra, aunque algunas zonas como son los polos son de difícil cobertura debido a que la propia superficie de la Tierra actúa como un obstáculo en la dirección de propagación e introduce unas pérdidas adicionales. Hoy en día, los spot-beams permiten redirigir más potencia a estas zonas, haciendo posible la cobertura también en las zonas polares.

Los satélites No Geoestacionarios se encuentran en órbitas más bajas. Estas otras pueden ser la órbita LEO (órbita baja) o la órbita MEO (órbita intermedia). Las ventajas de estas órbitas más bajas es que los satélites presentan menos retardo con respecto a los satélites GEO, se puede reducir el tamaño y la complejidad de la carga útil debido a la menor atenuación a la que están sometidas las señales, se puede dar cobertura a zonas más pequeñas, es posible cubrir los polos directamente dependiendo del ángulo de inclinación... etc. Sin embargo, la mayor desventaja es que para dar una cobertura global se necesitarían varios satélites, lo que encarece fuertemente los servicios ofrecidos por este tipo de satélites. Además, las antenas terrenas ya no apuntan a un lugar fijo debido a que el periodo orbital del satélite es menor que el periodo de rotación de la Tierra sobre sí misma, debido a la baja altura. Debido a ello, las antenas situadas en tierra dedicadas a transmitir servicios en órbitas bajas, son antenas omnidireccionales, lo que les permite apuntar a varios satélites en movimiento. Los satélites en órbitas Geoestacionarias permanecen fijos respecto a la Tierra debido a que su periodo orbital es el mismo que el de rotación de la Tierra (24 horas).

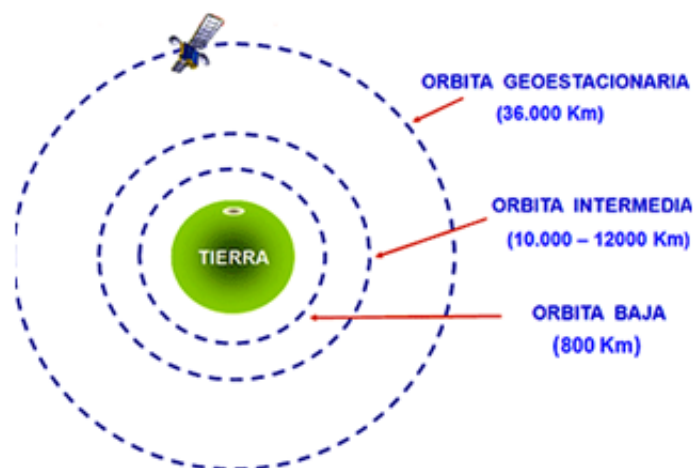


Ilustración 37. Situación de las distintas órbitas con respecto a la Tierra.

Los satélites en banda Ka que se están poniendo en órbita hoy en día pueden situarse en una órbita GEO o no dependiendo del servicio que se desee ofrecer. Los satélites en banda Ka se están posicionando en órbitas Geoestacionarias debido a las ventajas que este tipo de órbitas aportan.

Algunas constelaciones de satélites en órbitas bajas usan la banda Ka para establecer los enlaces directos entre satélites de la misma flota y entre estos y las estaciones gateway, como es el caso del sistema Iridium. En este caso, la banda Ka se usa para cursar las comunicaciones a través de la red troncal del sistema. Los satélites Iridium se sitúan en órbita LEO y consta de cuatro componentes básicos: la constelación de 66 satélites [71] colocados en 7 órbitas, los terminales móviles para los usuarios, las estaciones terrenas dedicadas al control y los telepuertos. La banda Ka se utiliza para los enlaces entre satélites y para los enlaces ascendentes y descendentes entre el satélite y las pasarelas [72] [73].

Tabla 1. Frecuencias en banda Ka que utiliza el sistema Iridium.

Bandas de frecuencias de Iridium	
Enlaces entre satélites	23,18 GHz - 23,38 GHz
Enlace estación - satélite	29,1 GHz - 29,3 GHz
Enlace satélite - estación	19,4 GHz - 19,6 GHz

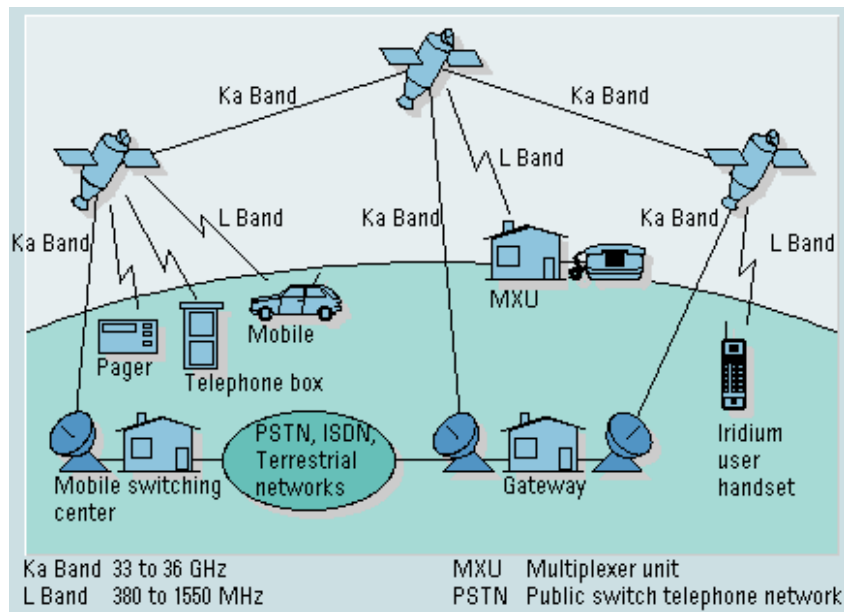


Ilustración 38. Implementación del sistema Iridium.

Uno de los primeros sistemas que plantearon utilizar la banda Ka fue el sistema Teledesic. Este utilizaría altas frecuencias para los enlaces móviles en órbitas LEO también [74] [73]. Finalmente la idea quedó descartada por rentabilidad económica.

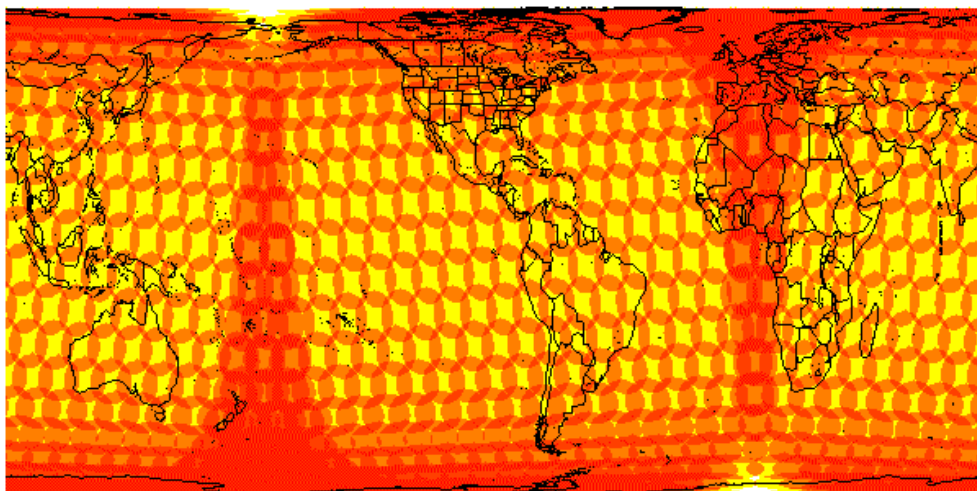


Ilustración 39. Cobertura del sistema Teledesic.

Otro sistema, esta vez en órbita MEO, fue el sistema Odyssey. Este también planteaba utilizar la banda Ka para los enlaces entre satélites y las estaciones terrenas para luego multiplexar y demultiplexar los servicios que se iban a ofrecer [\[72\]](#) [\[73\]](#) [\[75\]](#).

Los sistemas de satélites anteriormente comentados en órbitas bajas, salvo el Iridium, se fueron dejando de lado debido al gran coste que suponía mantener esos satélites; por ello, la mayor parte de los satélites en banda Ka son satélites Geoestacionarios.

El despliegue en banda Ka requiere de la implementación de nuevas tecnologías. Esto ha llevado al desarrollo de nuevos satélites que cumplan con estos nuevos requisitos. Así surgen los satélites HTS.

Estos satélites aumentan el rendimiento y la capacidad gracias a la reutilización de frecuencias, lo que permite hacer uso de los spot-beams. Gracias a estos haces muy estrechos, se puede reducir el coste por cada bit entregado, lo que supone una reducción muy importante en el precio final del satélite.

La explotación de este tipo de satélites se lleva a cabo mediante dos modelos de negocio. El primero y más habitual, es la oferta de portfolio de servicios al usuario final a través de un operador de comunicaciones o proveedor de servicios que alquila al operador de satélite los servicios de comunicaciones que necesita. En dichos servicios no va sólo incluido el alquiler del transpondedor, sino también servicios de red asociados, calidad... El segundo, menos habitual es el alquiler por parte del operador de comunicaciones de la capacidad necesaria (un transpondedor al completo o una parte del mismo).

Otra diferencia importante es la cobertura. Estos satélites ofrecen distintos tipos de cobertura según la masa y la energía del satélite, pero en general, la cobertura total está formada por una suma de pequeñas áreas de cobertura, cada una correspondiente a un spot-beam. Para cada enlace concreto, por tanto, el área cubierta es muy pequeña, pudiendo así ofrecer mayores calidades de servicio a la vez que se previenen interferencias gracias a la reutilización de frecuencias.

Los satélites HTS se dividen en dos grupos de satélites muy diferenciados dependiendo de los servicios a los que van dirigidos: los satélites de servicios fijos (FSS) y los satélites de servicios móviles (MSS).

En este trabajo, nos centraremos en los satélites FSS. La principal aplicación de estos satélites es proporcionar conectividad rápida a Internet a cualquier emplazamiento de una zona. Esto es posible gracias a los spot-beams, que consiguen reducir el número de usuarios que comparten el satélite. El sistema que permite proporcionar acceso a internet está basado en las ya conocidas redes VSAT, que cuentan con una estación central (HUB) a través del cual pasan todas las comunicaciones y permite reducir el tamaño de las estaciones receptoras de usuario. Las antenas de las que disponen los satélites son antenas pequeñas y muy direccionales que disponen de altas ganancias, lo que proporciona altas velocidades en la transmisión de todo tipo de datos. Hoy en día las redes se configuran tanto en modo punto a punto como en modo punto a multipunto [\[76\]](#).

Este nuevo grupo de satélites comienza a desarrollarse a finales del siglo XX, a partir de 1990. Uno de los primeros satélites en surgir fue el llamado Olympus F1. Fue lanzado en 1989 pero tuvo grandes problemas para conseguir su objetivo, por lo que se terminó abandonando el proyecto. Este primer satélite ya disponía de dos transpondedores en banda Ka.

A partir de este, han ido surgiendo nuevos satélites en los que se empezó compartiendo los transpondedores en otras bandas, como la banda Ku, la banda C o la banda S con los de banda Ka para ir mejorando las prestaciones y la cobertura. Cada vez se ha ido aumentando el ancho de banda para dar servicios con capacidades mayores, al permitir la tecnología aumentar el tamaño de la carga útil, es decir, el número de transpondedores, sin aumentar el peso del satélite. La gran capacidad de los mismos está en las posibilidades de reconfiguración de la potencia y la cobertura de la antena en función de la clase de servicio que se desee ofrecer.

Los satélites que se están desarrollando para su lanzamiento en los próximos años siguen los mismos requisitos que los anteriores; aunque el objetivo ahora está en intentar mitigar los problemas que surgen en la banda Ka debido al aumento de las

pérdidas de propagación que esta banda experimenta en condiciones climáticas adversas. El objetivo final es cubrir las necesidades de ancho de banda de todos los nuevos servicios que se plantean, así como proporcionar cobertura y servicios a aquellas partes del mundo donde no existen redes terrestres, lo que permitirá la evolución de los países menos desarrollados.

A continuación se describen las características de los satélites de los que se ha ido hablando a lo largo del documento:

Hispasat 1E

Es un satélite cuyo lanzamiento tuvo lugar en 2010 por la Agencia Espacial Europea y se situó a 30° Este. Proporcionará servicios fijos por satélite y servicios de banda ancha en los próximos 15 años. Su principal objetivo es ampliar la cobertura de sus predecesores por toda Europa, América y el Norte de África. Tiene un único transpondedor en banda Ka con 14 KW de potencia disponible (en todo el satélite), de la cual 11KW están disponibles para la carga útil (en todo el satélite) [\[77\]](#).

[Tabla 2. Características del satélite Hispasat 1E.](#)

Año de lanzamiento	2010
Posición orbital	30° Oeste
Transpondedores	53 (Ku) y 1(Ka)
Ancho de banda	33 o 36 MHz (Ku) y 500 MHz (Ka)
Antenas	4 (3 en uso)
Masa seca	2171 Kg
Potencia de carga útil	11 KW
Cobertura	América y Europa

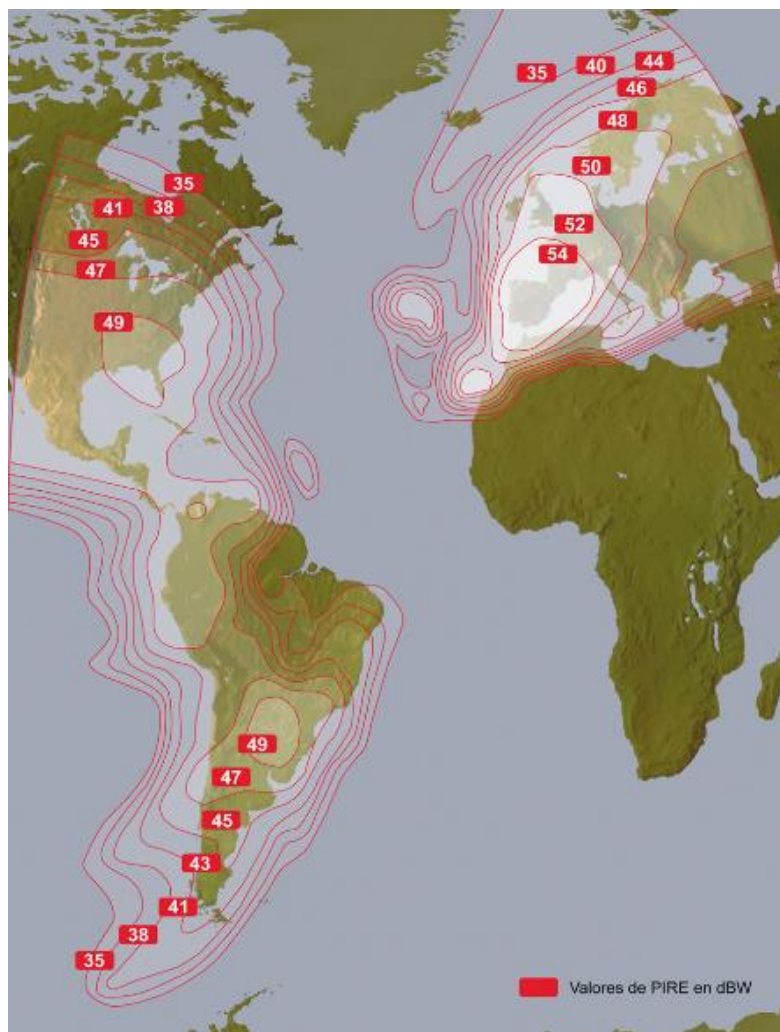


Ilustración 40. Cobertura global del satélite Hispasat 1E.

Hispasat 1F

Es un satélite que será lanzado en 2016 con una vida útil prevista de 15 años o más. Está siendo construido por la empresa SSL para Hispasat y proporcionará servicios de banda ancha principalmente a Europa, América y el Norte de África. Sustituirá al satélite Hispasat 1D en su misma posición (30° Oeste). Tiene una potencia de 11,5 KW (potencia disponible para todo el satélite) y consta de 6 spot-beams que darán cobertura a la Península Ibérica, las Islas Canarias y Baleares, el Norte de África y el Sur de Europa. También tendrá 1 spot-beam para servicios de banda ancha destinado exclusivamente a cubrir la Península Ibérica [78].

Tabla 3. Características del satélite Hispasat 1F.

Año de lanzamiento	2016
Posición orbital	30° Oeste
Transpondedores	10 (C), 40 (Ku) y 7 spot-beams (Ka)
Ancho de banda	36 y 72 MHz (C y Ku) y 225 MHz (Ka)
Antenas	5
Masa	Desconocida
Potencia de carga útil	10,5 KW
Cobertura	Europa, América y Norte de África

Amazonas 3

Fue lanzado el 7 de febrero de 2013 y se hará cargo del tráfico del Amazonas 1 cuando termine su vida útil. Fue construido por la empresa Space Systems/Loral y posee 9 spot-beams con una potencia disponible en todo el satélite de más de 14 KW lo que permitirá ofrecer servicios de banda ancha a todo el Sur de América. También está previsto que su vida sea de unos 15 años [\[79\]](#).

Tabla 4. Características del satélite Amazonas 3.

Año de lanzamiento	2013
Posición orbital	61° Oeste
Transpondedores	19 (C), 33 (Ku) y 9 spot-beams (Ka)
Ancho de banda	36 y 54 (C y Ku) y 400 - 450 MHz (Ka)
Antenas	6 (4 en uso)
Masa seca	2819 Kg
Potencia de carga útil	11,2 KW
Cobertura	América y Europa

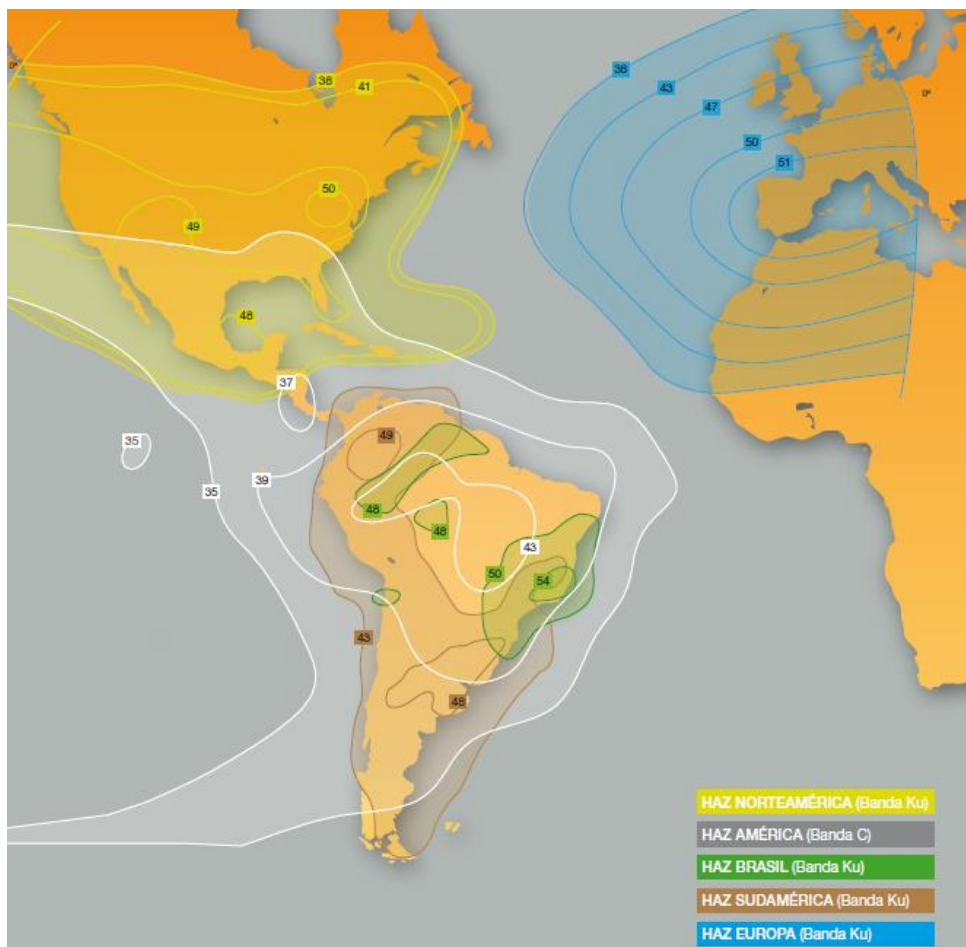


Ilustración 41. Cobertura global del satélite Amazonas 3.

Amazonas 5

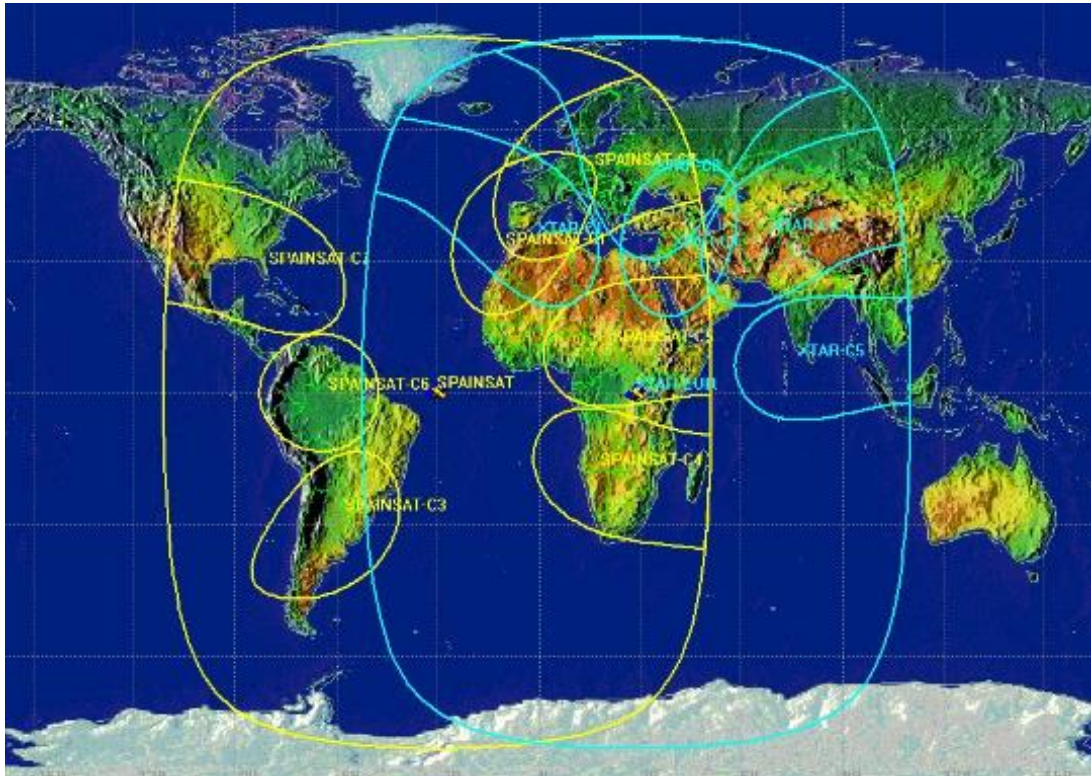
Es un satélite que será lanzado en los próximos años. Poseerá 34 spot-beams con los que se pretende satisfacer las necesidades de capacidad en el mercado de la televisión en el Sur de América. Tendrá una vida de 15 años con una potencia disponible para todo el satélite de 11,5 KW [80].

Tabla 5. Características del satélite Amazonas 5.

Año de lanzamiento	Desconocido
Posición orbital	61° Oeste
Transpondedores	24 (Ku) y 34 spot-beams (Ka)
Ancho de banda	Desconocido
Antenas	5
Masa	Desconocida
Potencia de carga útil	10 KW
Cobertura	Sur de América

Xtar-EUR

Es un satélite lanzado el 12 de febrero de 2005 por Hisdesat, afiliado de Hispasat. Colocado en la posición 29° Este, proporciona servicios de comunicaciones a organizaciones gubernamentales españolas como es el Ministerio de Defensa [\[81\]](#).



[Ilustración 42. Cobertura global de los satélites gubernamentales.](#)

Spainsat

El 11 de marzo de 2006 la empresa Hisdesat lanzó este satélite en la posición 30° Oeste con el mismo fin que el anterior, ofrecer servicios de comunicación al Gobierno español y sus aliados [\[82\]](#).

*** El objetivo de utilizar la banda Ka en estos satélites es proporcionar a los gobiernos comunicaciones de banda ancha en toda su área de influencia.

Hispasat AG1

El lanzamiento de este satélite está previsto para la segunda mitad de 2015 con 3 transpondedores en banda Ka. Fue desarrollado por OHB Systems con la Agencia Espacial Europea e Hispasat, y la colaboración de REDSAT, lo que contribuye a obtener una gran capacidad de transmisión con una reducción en el coste de comunicaciones. Estará ubicado en la posición 36° Oeste, tendrá 15 años de vida útil y un ancho de banda en banda Ka de 144 MHz. Su potencia disponible en todo el satélite es de 6 KW, aunque la dedicada a la carga útil es de 3,4 KW [83].

Tabla 6. Características del satélite Hispasat AG1.

Año de lanzamiento	2015
Posición orbital	36° Oeste
Transpondedores	24 (Ku) y 3 (Ka)
Ancho de banda	33 y 36 MHz (Ku) y 144 MHz (Ka)
Antenas	3 (2 en uso)
Masa seca	3200 Kg
Potencia de carga útil	3,4 KW
Cobertura	Europa

ViaSat-1

Es un satélite que se lanzó el 19 de octubre de 2011, está colocado en la posición 115° Oeste y da cobertura al Norte de América. Posee una capacidad total de 140 Gbps con 56 transpondedores en banda Ka, de los cuales es capaz de crear 63 spot-beams para EEUU y 9 spot-beams para Canadá. Se estima una vida media de 15 años [84].

Tabla 7. Características del satélite ViaSat-1.

Año de lanzamiento	2011
Posición orbital	115° Oeste
Transpondedores	56
Ancho de banda	Desconocido
Antenas	Desconocido
Masa	6,740 Kg
Potencia de carga útil	Desconocido
Cobertura	Norte de América

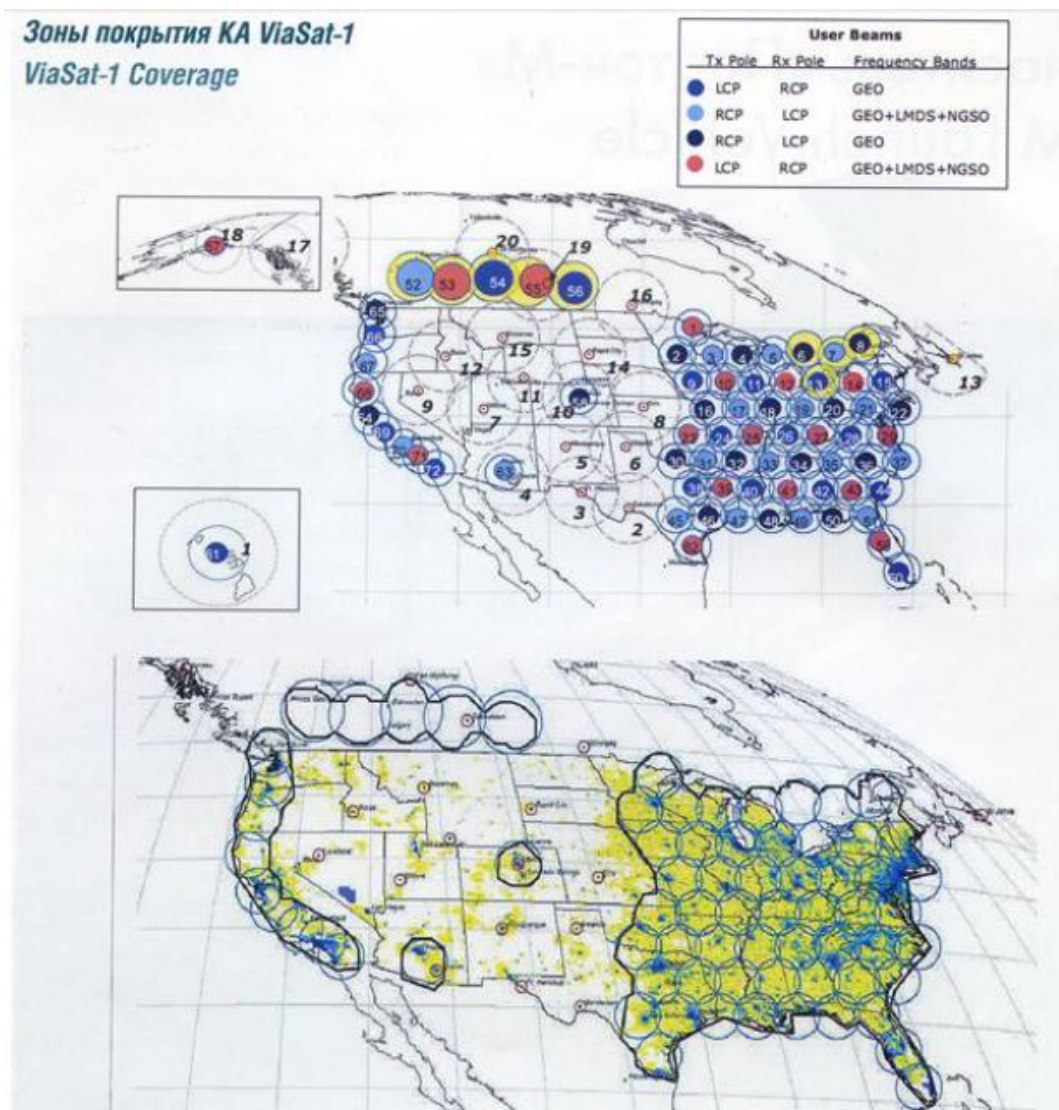


Ilustración 43. Cobertura del satélite ViaSat-1.

ViaSat-2

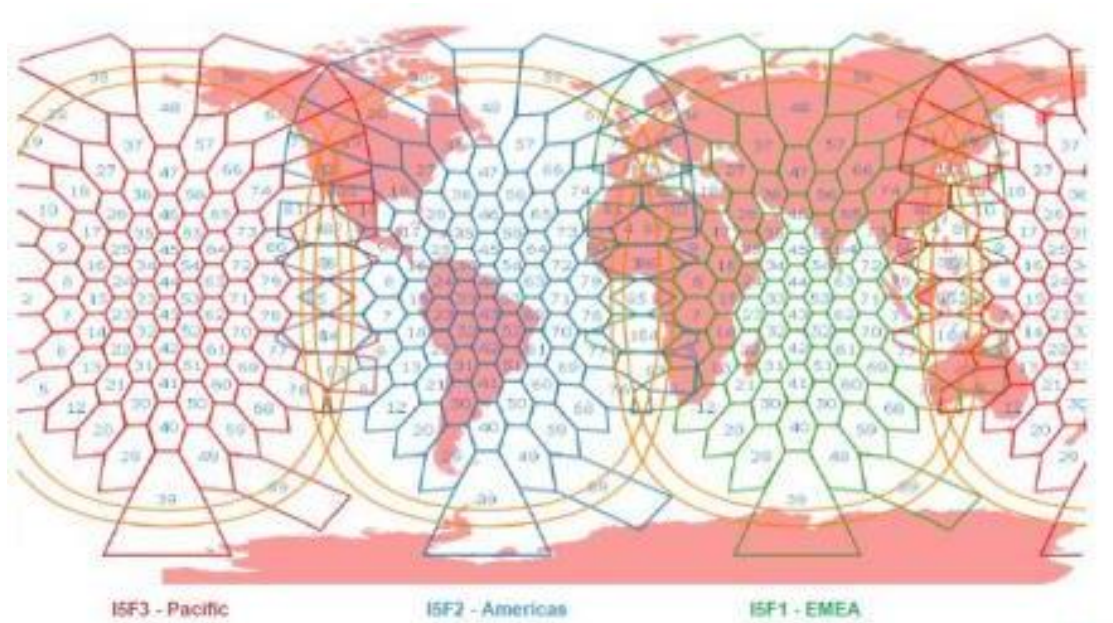
Será lanzado en 2016. Proporcionará cobertura en el Norte y Centro de América, el Caribe y atravesará el Atlántico para dar cobertura a Europa. Llevará exclusivamente transpondedores en banda Ka. Se pretende que cubra siete veces más cobertura que el ViaSat-1 a un menor precio. Tendrá aproximadamente el peso que su antecesor y será colocado en órbita geoestacionaria [85].



[Ilustración 44. Cobertura del satélite ViaSat-2.](#)

Inmarsat 5

Es una flota de satélites que consta de tres satélites que darán cobertura global para satisfacer los servicios de la red Global Xpress. Contará con 89 spot-beams en la banda Ka y se situarán todos los satélites en órbita geosíncrona. Serán capaces de proveer 15 KW de energía al principio de su vida para acabar con 13,8 KW al final. Tendrá una vida media de 15 años [\[86\]](#).



[Ilustración 45. Cobertura global de la flota de satélites de Inmarsat-5.](#)

Posee también 6 spot-beams orientables para ofrecer capacidad adicional y ofrecerán velocidades de 50 Mbps en el enlace descendente y de 5Mbps en el ascendente [86].

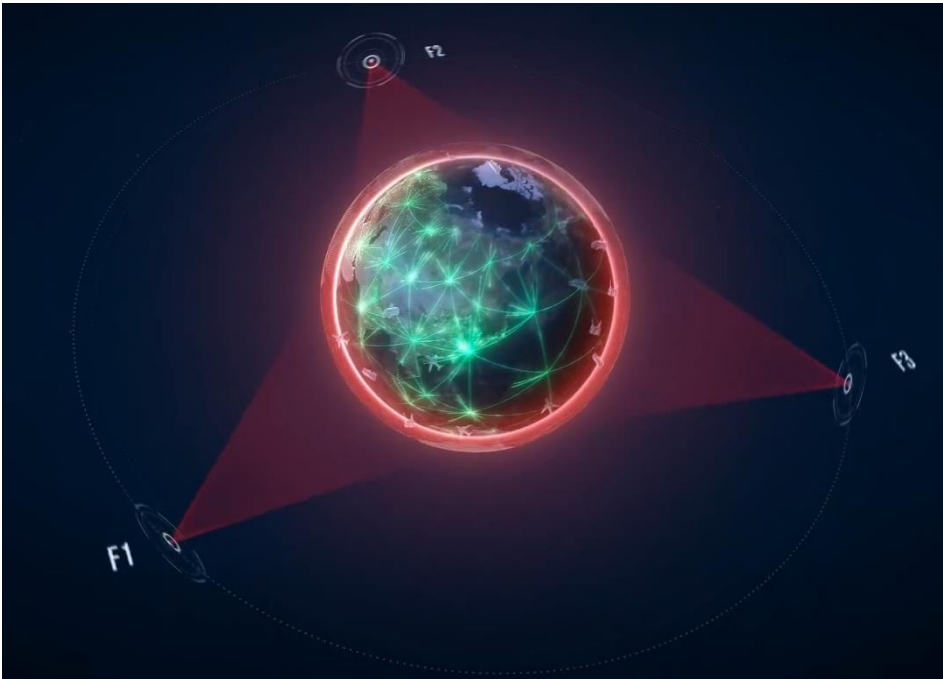


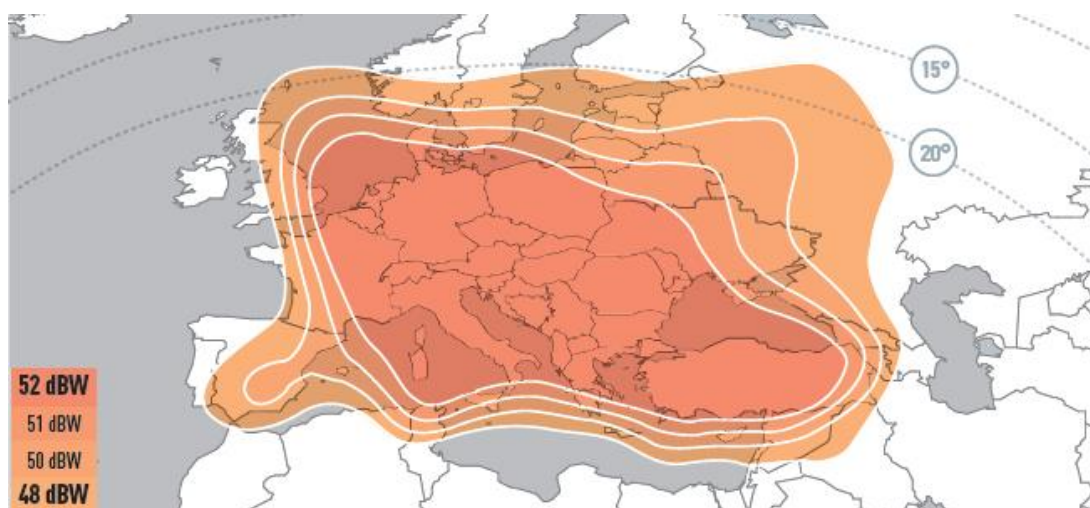
Ilustración 46. Situación de los satélites de la flota de Inmarsat-5.

Eutelsat 16A

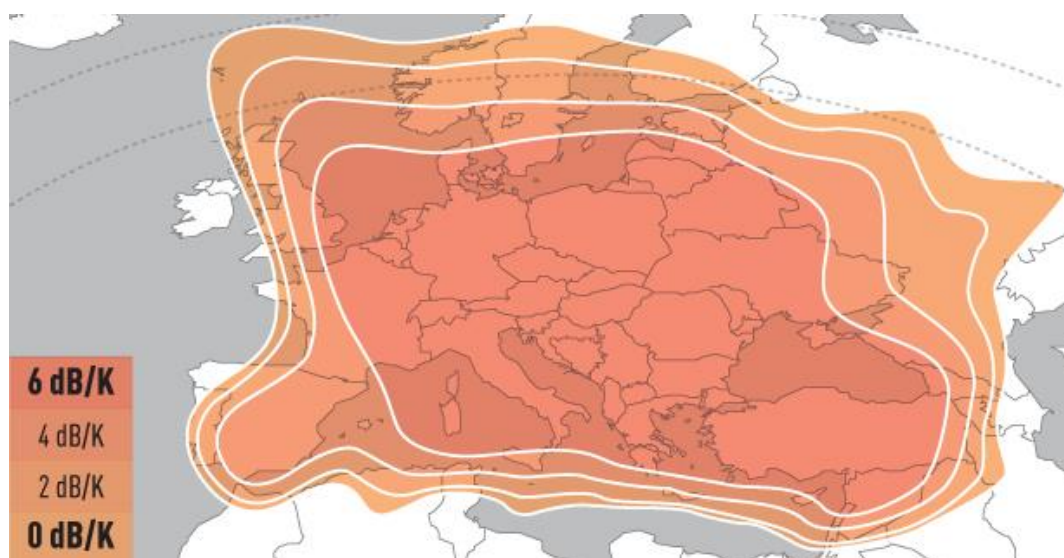
Fue lanzado en 2011. Proporciona cobertura a Europa, Norte de África, todo Oriente y regiones del Océano Índico, trabaja en banda Ku y Ka, y se sitúa a 16º Este. Tiene tres transpondedores en banda Ka y durará una media de 15 años [87].

Tabla 8. Características del satélite Eutelsat 16A.

Año de lanzamiento	2011
Posición orbital	16º Este
Transpondedores	53 (Ku) y 3 (Ka)
Ancho de banda	Desconocido
Antenas	Desconocido
Masa seca	5400 Kg
Potencia de carga útil	12 KW
Cobertura	Europa, Norte de África y Oriente



[Ilustración 47. Cobertura en banda Ka del enlace descendente del satélite Eutelsat 16A.](#)



[Ilustración 48. Cobertura en banda Ka del enlace ascendente del satélite Eutelsat 16A.](#)

Eutelsat KA-SAT

Fue lanzado en 2010. Ofrece cobertura a Europa, el Norte de África y Oriente con una capacidad total de 90 Gbps. Con terminales Tooway es capaz de servir 50 Mbps de velocidad en el enlace de bajada y 20 Mbps de velocidad en el enlace de subida para los servicios profesionales; en servicios convencionales, ofrece 20 Mbps en el enlace descendente y 6 Mbps en el enlace ascendente. Se prevé que tenga una vida útil de 16 años [\[88\]](#).

Tabla 9. Características del satélite KA-SAT.

Año de lanzamiento	2010
Posición orbital	9° Este
Transpondedores	82 spot-beams
Ancho de banda	90 Gbps
Antenas	Desconocido
Masa seca	3170 Kg
Potencia de carga útil	11 KW
Cobertura	Europa y Cuenca Mediterránea



Ilustración 49. Cobertura del satélite KA-SAT.



Ilustración 50. Cobertura a través de los spot-beams del satélite KA-SAT.

Intelsat 29e

Se pretende lanzar en 2016 para situarse en la posición 310° Este. Proporcionará un total de 450 MHz de ancho de banda entre todos los transpondedores. Trabaja con una PIRE mayor de 35,5 dBW y una G/T por encima de 6,6 dB/K, y está prevista una vida útil de 15 años [\[89\]](#). Este satélite utiliza banda Ka, pero no hace uso de spot-beams.

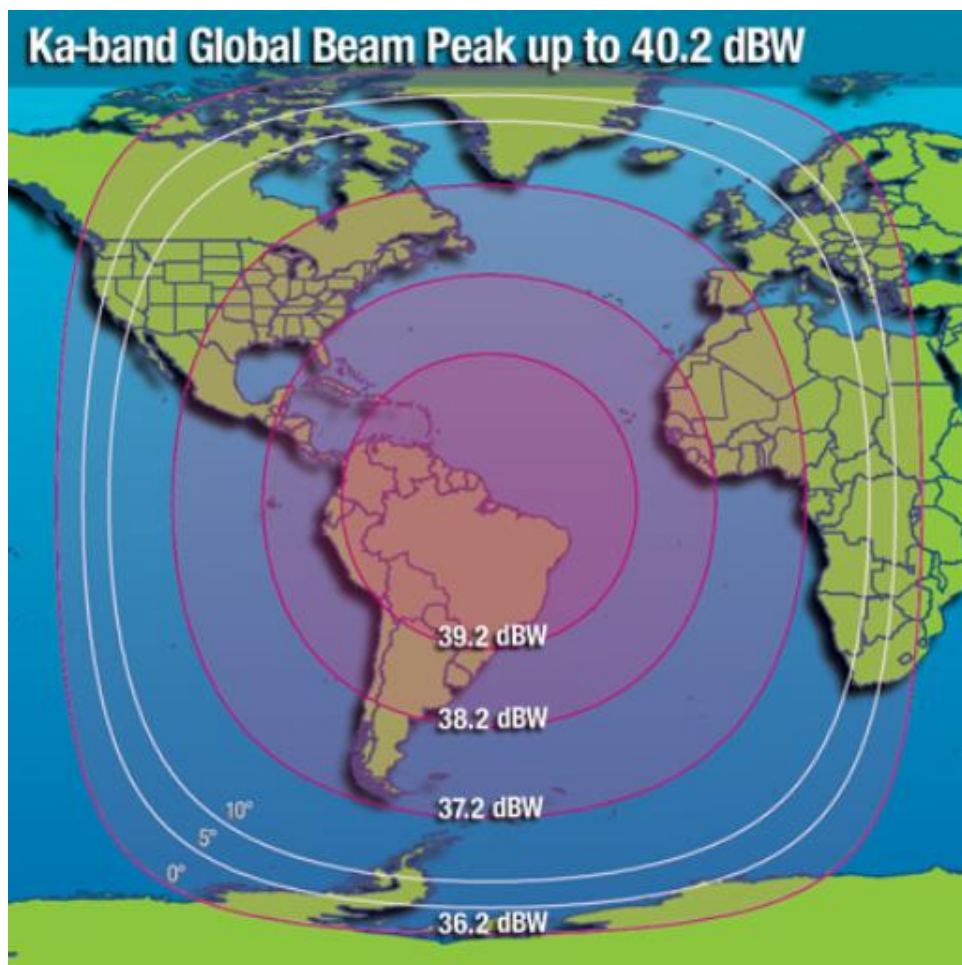
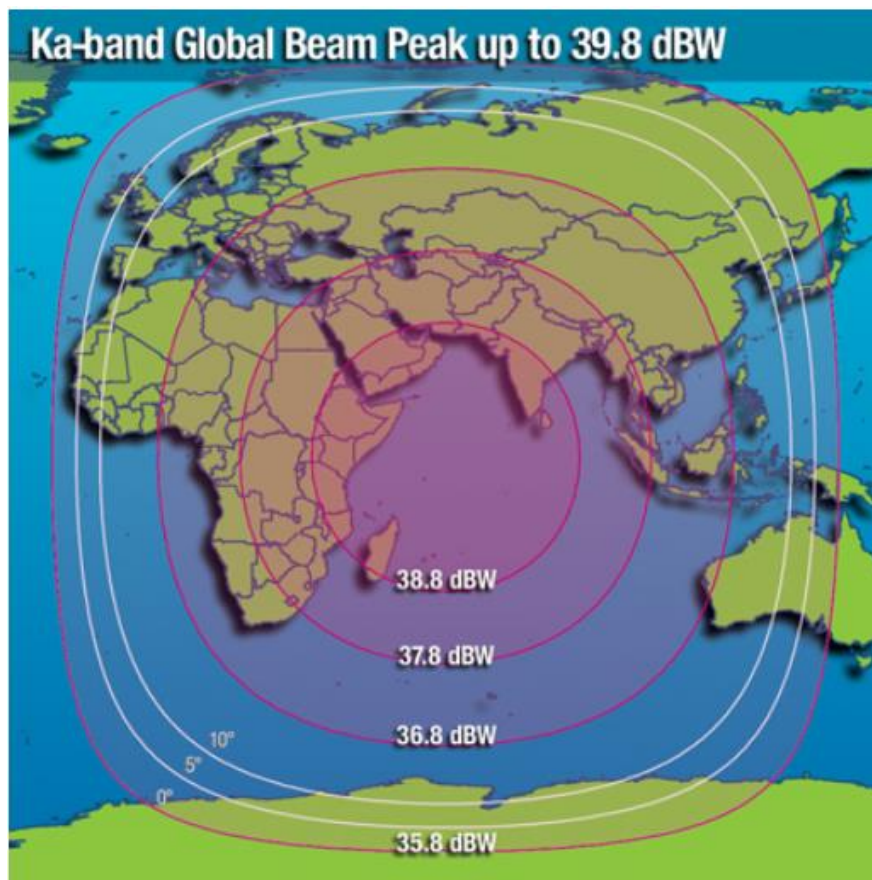


Ilustración 51. Cobertura en banda Ka del satélite Intelsat 29e.

Intelsat 33e

Será lanzado en el 2016 para situarse en la posición 60° Este. Tendrá una capacidad total de 441 MHz, con PIRE mayores de 35,3 dBW y G/T por encima de -7,0 dB/K. Está prevista una vida útil de 15 años [\[90\]](#). Al igual que el anterior, este satélite hace uso de la banda Ka, pero no utiliza los spot-beams; por lo que no transmitirá tanta potencia.



[Ilustración 52. Cobertura en banda Ka del satélite Intelsat 33e.](#)

HYLAS 1, 2, 3 y 4

El satélite Hylas 1 fue lanzado en 2010, y proporciona cobertura a Europa en banda Ka, aunque está complementado con algunos transpondedores en banda Ku. El satélite Hylas 2 fue lanzado en 2012 y aumenta la cobertura a Oriente Medio y África en banda Ka. El satélite Hylas 3 será lanzado en 2016 y proporcionará cobertura a las zonas anteriores. Y el satélite Hylas 4 se pretende lanzar en 2017 para ofrecer cobertura a África y proporcionar capacidad de expansión para los clientes de las zonas ya comentadas [\[91\]](#).



Ilustración 53. Cobertura total entre los satélites Hylas.

Tabla 10. Características del satélite Hylas 1.

Año de lanzamiento	2010
Posición orbital	33,5° Oeste
Transpondedores	Desconocido (Ku) 8 (forward, Ka) 2 (return, Ka)
Ancho de banda	33 MHz (Ku) 250 MHz (forward, Ka) 120 MHz (return, Ka)
Antenas	Desconocido
Masa seca	2300 Kg
Potencia de carga útil	> 2 KW
Cobertura	Europa
PIRE	62 dBW

Tabla 11. Características del satélite Hylas 2.

Año de lanzamiento	2012
Posición orbital	31° Este
Transpondedores	24 (forward, Ka) 6 (return, Ka)
Ancho de banda	230 MHz (forward, Ka) 220 MHz (return, Ka)
Antenas	Desconocido
Masa seca	3200 Kg
Potencia de carga útil	5 KW
Cobertura	Oriente Medio y África
PIRE	58 dBW sin lluvia 61,5 dBW con lluvia
G/T	11,5 dB/K sin lluvia 14 dB/K con lluvia

4. PLANIFICACIÓN DEL TRANSPONDEDOR SATÉLITE.

El objetivo de este apartado es la realización de los cálculos necesarios para la planificación de un enlace satelital. Para la planificación de un transpondedor de un satélite se van a seguir tres pasos:

- Planificación del transpondedor.
- Planificación del enlace forward.
- Planificación del enlace return.

Todos los cálculos relativos a la planificación se van a aplicar a tres servicios concretos, tomando como referencia el satélite **Hylas 2** que da cobertura a toda Europa, ya que este es el área de cobertura a considerar para los servicios planificados. El **servicio 1** es un servicio de Internet residencial. Como ejemplo, se proveerá a una urbanización situada en Rambouillet, Francia ($48,649^\circ$ Norte, $1,8335^\circ$ Este). El **servicio 2** ofrece Internet de alta velocidad para la distribución de información a un entorno empresarial. En este caso, se toma como ejemplo una empresa situada en Berlín, Alemania ($52,531^\circ$ Norte, $13,126^\circ$ Este). El **servicio 3** es un servicio de apoyo a situaciones de emergencia (catástrofes, inundaciones...). En este caso se considera la zona de Londres, Reino Unido ($51,511^\circ$ Este, $0,124^\circ$ Oeste). Cada uno de estos servicios se basan en algunos de los servicios comerciales que ya se describieron anteriormente. Las características de los terminales de usuario que se van a utilizar en dichos servicios se encuentran en [\[52\]](#), [\[57\]](#) y [\[48\]](#) respectivamente.

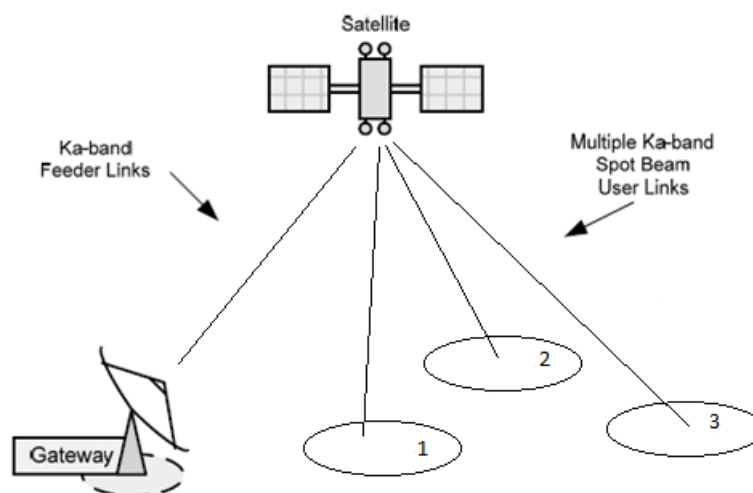


Ilustración 54. Esquema de la planificación de los enlaces.

Como se ha comentado, los tres servicios van a estar cubiertos por un mismo transpondedor de un satélite y van a disponer de un mismo **HUB** para el intercambio de información situado en Guadalajara, España (40,538° Este, 3,028° Oeste) cuyas características se describen en las siguientes hojas de características [\[92\]](#).

4.1 PLANIFICACIÓN DEL TRANSPONDEDOR.

El transpondedor que se va a planificar va a disponer de un ancho total de **500 MHz**, y a cada servicio se le ha asignado un ancho de **125 MHz** por canal. Como ocurre en las redes VSAT, los enlaces de los sistemas satelitales son asimétricos, por ello hay que tener en cuenta que, para el dimensionado de los tres servicios, el sentido forward transmite más información, por lo que se le asignará mayor cantidad de ancho de banda; y para el sentido return se le asignará menor ancho de banda.

El sentido forward se define como la transmisión del HUB al terminal VSAT; mientras que el sentido return es la transmisión entre el terminal VSAT y el HUB.

Para la distribución de los canales de los servicios, se necesita disponer de las velocidades necesarias para esos tres servicios, las cuales se encuentran en las hojas de características que se han comentado anteriormente; a excepción del tercer servicio (referido a Global Xpress) cuyas características se han comentado anteriormente también (50 Mbps en sentido forward y 5 Mbps en sentido return). Como cada servicio requiere unas velocidades diferentes, se han elegido para los cálculos las velocidades mayores para que quede cubierto cualquier servicio. Las velocidades finales serán **50 Mbps** para el enlace forward y **20 Mbps** para el enlace return.

Ambos sentidos se basan en el estándar **DVB-S2** (usado en la banda Ka) que utiliza diferentes modulaciones. Se escogerá la modulación **QPSK** con un **FEC de 3/4**, un **roll-off del 20 %** y codificación **Reed Solomon de 188/204** [\[33\]](#). También hay que tener en cuenta que con el estándar DVB-S2 se utiliza una modulación y codificación ACM por lo que la asignación del ancho de banda puede variar en el tiempo. El ancho de banda preasignado en el satélite debe permitir esa variabilidad.

Para calcular si el ancho del canal acepta esa variabilidad, se calculará a continuación el ancho de banda máximo para las velocidades máximas. Para calcular ese B máximo se utilizará la modulación QPSK con un FEC de 1/2, un roll-off de 35% y la codificación Reed Solomon (todo ello según las especificaciones de DVB-S2):

$$B = \frac{\left(R_b * \frac{1}{FEC} * Reed\ Solomon * (1 + roll_off) \right)}{n^o\ simbolos} \quad [a]$$

$$B_{50,max} = \frac{\left(50 * \frac{2}{1} * \frac{204}{188} * (1 + 0,35) \right)}{2} = 73,24\ MHz$$

$$B_{20,max} = \frac{\left(20 * \frac{2}{1} * \frac{204}{188} * (1 + 0,35) \right)}{2} = 29,29\ MHz$$

La suma de ambos anchos de banda ocupa 102,53 MHz, menor que el ancho del canal (125 MHz). Por tanto, queda comprobado que el transpondedor soporta esa variabilidad debida a la modulación y codificación ACM.

A continuación se calculará los anchos con la modulación elegida y las velocidades máximas. Para el sentido forward, el ancho de banda asignado se calcula de la siguiente manera:

$$B = \frac{\left(R_b * \frac{1}{FEC} * Reed\ Solomon * (1 + roll_off) \right)}{n^o\ simbolos}$$

siendo R_b la velocidad asignada para cada servicio.

$$B_{50} = \frac{\left(50 * \frac{4}{3} * \frac{204}{188} * (1 + 0,20) \right)}{2} = 43,40\ MHz$$

Como se utiliza una modulación QPSK, el ancho de banda hay que dividirlo por el número de símbolos de la modulación elegida, que en este caso es 2. Este ancho calculado es el ancho de banda mínimo que se necesita para una velocidad de 50 MHz.

Para el sentido return, el ancho de banda será:

$$B = \frac{\left(R_b * \frac{1}{FEC} * Reed\ Solomon * (1 + roll_off) \right)}{n^o\ simbolos} [a]$$

$$B_{20} = \frac{\left(20 * \frac{4}{3} * \frac{204}{188} * (1 + 0,20) \right)}{2} = 17,36\text{ MHz}$$

Como se ha comentado antes, el ancho de banda calculado es el menor que se necesita.

La suma de esos anchos de banda es más pequeño que el ancho de banda del canal asignado (125 MHz), por lo que se puede asignar más ancho de banda para cada sentido. La distribución de ese ancho de banda del canal queda finalmente de la siguiente manera:

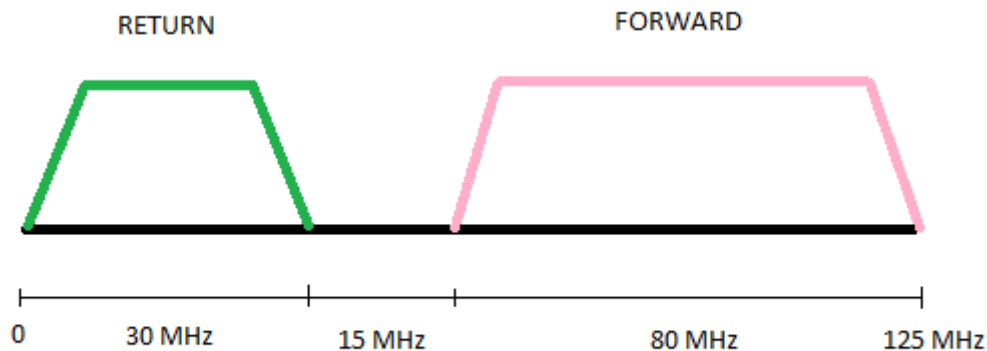


Ilustración 55. Distribución del ancho de banda en un canal.

Se ha aumentado el ancho de banda del sentido return hasta los **30 MHz**, el sentido forward hasta los **80 MHz** y se ha dejado un ancho de guarda de **15 MHz**.

Como se puede apreciar, se ha colocado en primera posición el sentido return debido a que se ha tenido la consideración de que el HUB puede transmitir una PIRE mayor que los terminales VSAT, y por consiguiente este puede hacer frente a atenuaciones por lluvia o gases mayores que esos terminales. Como el aumento de la atenuación es directamente proporcional a la frecuencia de transmisión, al sentido forward se le

asignará una frecuencia mayor que al sentido return. De esta forma se optimiza el enlace.

Una vez que se ha dejado resuelto el ancho de banda que se le dedica a cada sentido de cada servicio, se tiene que dimensionar el ancho de todos los servicios en el ancho del transpondedor. Para ello se debe de saber las frecuencias a las que se emiten y se ha seleccionado frecuencias comunes a los tres terminales que se usan. Estas son **29 GHz** para enlaces ascendentes y **19 GHz** para enlaces descendentes. Entre cada canal también se dejará un ancho de guarda que lo se calcula de la siguiente manera:

$$B_g = \frac{(500 \text{ MHz} - (3 * 125 \text{ MHz}))}{4} = 31,25 \text{ MHz}$$

Sabiendo ya los anchos de guarda, se van a calcular las frecuencias a las que se encuentran situadas las portadoras.

En primer lugar se van a obtener las portadoras del sentido return para los enlaces ascendentes:

$$f_{1r} = 29 \text{ GHz} + 0,03125 + \frac{0,030}{2} = 29,046 \text{ GHz}$$

$$f_{2r} = 29 \text{ GHz} + (2 * 0,03125) + 0,125 + \frac{0,030}{2} = 29,2025 \text{ GHz}$$

$$f_{3r} = 29 \text{ GHz} + (3 * 0,03125) + (2 * 0,125) + \frac{0,030}{2} = 29,358 \text{ GHz}$$

Para el sentido forward en los enlaces ascendentes:

$$f_{1f} = 29 \text{ GHz} + 0,03125 + 0,030 + 0,015 + \frac{0,080}{2} = 29,11625 \text{ GHz}$$

$$f_{2f} = 29 \text{ GHz} + (2 * 0,03125) + 0,125 + 0,030 + 0,015 + \frac{0,080}{2} = 29,2725 \text{ GHz}$$

$$f_{3f} = 29 \text{ GHz} + (3 * 0,03125) + (2 * 0,125) + 0,030 + 0,015 + \frac{0,080}{2}$$

$$f_{3f} = 29,42875 \text{ GHz}$$

La siguiente imagen muestra los cálculos realizados anteriormente:

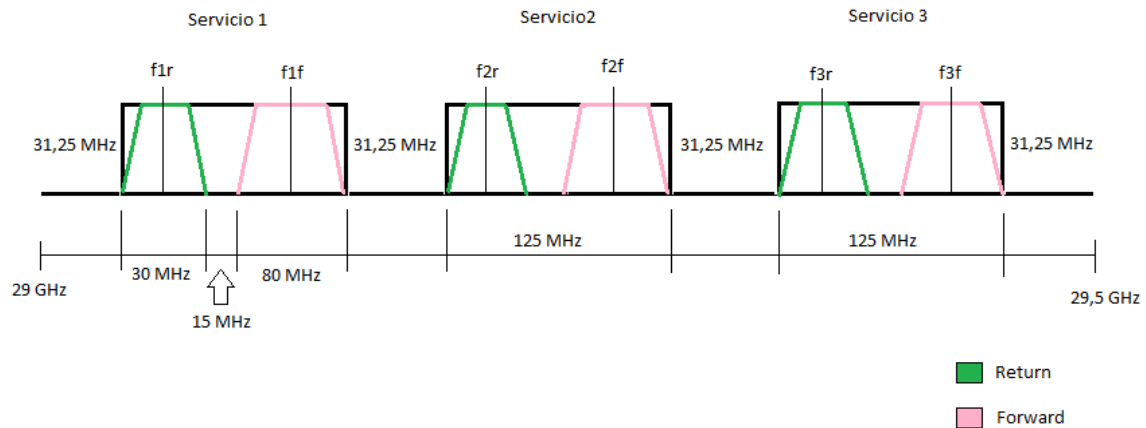


Ilustración 56. Distribución del transpondedor para el enlace ascendente.

Ahora se van a realizar los cálculos del sentido return para los enlaces descendentes:

$$f'_{1r} = 19 \text{ GHz} + 0,03125 + \frac{0,030}{2} = \mathbf{19,046 \text{ GHz}}$$

$$f'_{2r} = 19 \text{ GHz} + (2 * 0,03125) + 0,125 + \frac{0,030}{2} = \mathbf{19,2025 \text{ GHz}}$$

$$f'_{3r} = 19 \text{ GHz} + (3 * 0,03125) + (2 * 0,125) + \frac{0,030}{2} = \mathbf{19,358 \text{ GHz}}$$

Para el sentido forward en los enlaces descendentes:

$$f'_{1f} = 19 \text{ GHz} + 0,03125 + 0,030 + 0,015 + \frac{0,080}{2} = \mathbf{19,11625 \text{ GHz}}$$

$$f'_{2f} = 19 \text{ GHz} + (2 * 0,03125) + 0,125 + 0,030 + 0,015 + \frac{0,080}{2} = \mathbf{19,2725 \text{ GHz}}$$

$$f'_{3f} = 19 \text{ GHz} + (3 * 0,03125) + (2 * 0,125) + 0,030 + 0,015 + \frac{0,080}{2}$$

$$f'_{3f} = \mathbf{19,42875 \text{ GHz}}$$

La siguiente imagen muestra los cálculos realizados anteriormente:

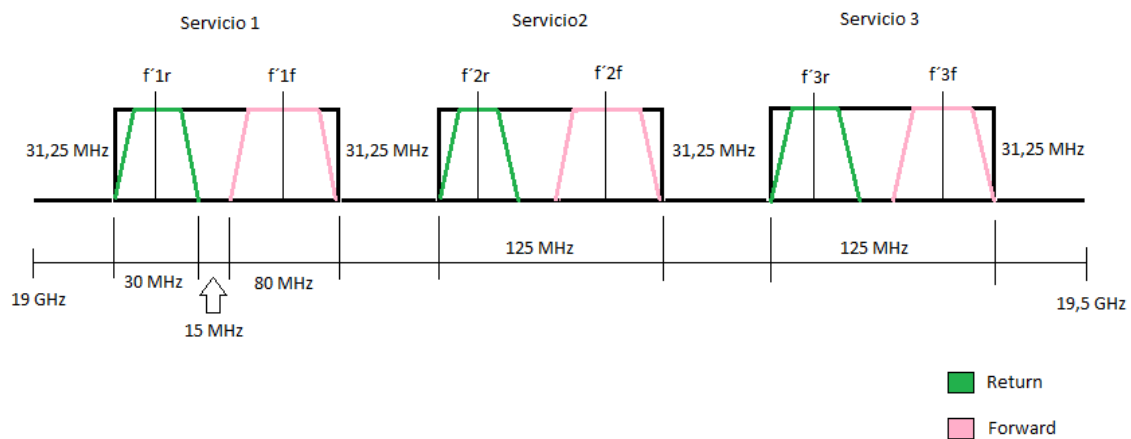


Ilustración 57. Distribución del transpondedor para el enlace descendente.

Se han calculado las frecuencias a las que trabaja cada servicio, pero, para la realización de los cálculos, se redondearán las frecuencias a 29 GHz y a 19 GHz.

4.2 PLANIFICACIÓN DEL ENLACE FORWARD.

Una vez hecha la planificación del transpondedor del satélite, el siguiente paso es calcular el balance de enlace para cada servicio. En primer lugar se empezará calculando el sentido forward, que posee tanto un enlace ascendente como descendente. Si se recuerda, el sentido forward es el que se recorre desde el HUB hasta los terminales.

Enlace ascendente.

El enlace ascendente se define como el enlace entre el HUB y el satélite. Lo primero que hay que saber es la PIRE máxima con la cual tiene que emitir el HUB. Esto es necesario para que la potencia con la que emite el HUB no sature al satélite en recepción. Para calcular esa potencia lo único que hay que saber es la SFD del satélite (donde un valor típico es de -84 dBW/m^2); por lo que se calculará la potencia de esta manera:

$$SFD_{max} = -84 \text{ dBW/m}^2$$

$$PIRE = SFD + 10 * \log(4 * \pi * d(m)^2)$$

siendo:

- $d \rightarrow$ distancia entre el HUB y el satélite en Km. Esta se calcula de la siguiente manera:

$$d = r_s * \sqrt{1 + \left(\frac{r_t}{r_s}\right)^2 - 2 * \left(\frac{r_t}{r_s}\right) * \cos(\delta)}$$

siendo:

- $r_s = 42371 \text{ Km} \rightarrow$ distancia desde el centro de la Tierra al satélite en órbita GEO.
- $r_t = 6371 \text{ Km} \rightarrow$ radio medio de la Tierra.
- $\cos(\delta) = \cos(La_{et}) * \cos(La_s) * \cos(Lo_{et} - Lo_s) + \sin(La_{et}) * \sin(La_s)$
- $La_{et} = 40,538^\circ \rightarrow$ latitud de la ubicación del HUB.
- $La_s = 0^\circ \rightarrow$ latitud del satélite en órbita GEO.
- $Lo_{et} = -3,028^\circ \rightarrow$ longitud de la ubicación del HUB.
- $Lo_s = 310^\circ \rightarrow$ longitud del satélite en órbita GEO.

Con todos los datos, se obtiene una distancia de: **$d = 42252,50 \text{ Km}$** ; y con esta distancia se tiene una **$PIRE = 79,50 \text{ dBW}$** . Como ya se ha comentado esta es la PIRE máxima con la que va a transmitir el HUB. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta que al transmitir la información deseada, se va a tener ciertas pérdidas y atenuaciones que van a producir que la PIRE con la que llegue la información sea menor. Por ello, a continuación se va a calcular la PIRE real con la que va a emitir el HUB teniendo en cuenta esas pérdidas. Las que más afectan a enlaces en la banda Ka, como ya se ha comentado anteriormente, son las pérdidas debidas a la lluvia y los gases, y a ello se le suma pérdidas adicionales como puede ser las pérdidas de desapuntamiento, de alimentación y de despolarización.

Se va a empezar calculando las pérdidas por lluvia, las cuales se describen detalladamente en la recomendación ITU p618-11 ([ITU p618-11](#)).

- Intensidad de la lluvia para la estación HUB:

$$R_{0,01} = 30 \text{ mm/h}$$

- Altura de la estación HUB con respecto al mar:

$$h_s = 0,7 \text{ Km}$$

- Elevación de la estación HUB:

$$EL = \cos^{-1} \left(\frac{r_s * \sin(\delta)}{d(\text{Km})} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{42371 * \sin(58,76)}{42252,50} \right) = 30,97^\circ$$

- Frecuencia para el enlace ascendente utilizada para los tres servicios:

$$f_u = 29 \text{ GHz}$$

Partiendo de los datos anteriores, se puede ir comenzando a calcular el resto de los datos necesarios para obtener las pérdidas por lluvia ([ITU p839-3](#)) ([ITU p838-3](#)):

- Altura de la lluvia en la situación del HUB:

$$h_r = 3 + 0,36 = 3,36 \text{ Km}$$

*Donde $h_0 = 3 \text{ Km}$, que es la altura de la lluvia a la altura de España.

- Longitud del trayecto oblicuo para ángulos mayores de 5° :

$$L_s = \frac{h_r - h_s}{\sin(EL)} = 5,17 \text{ Km}$$

- Proyección horizontal:

$$L_G = L_s * \cos(EL) = 4,43 \text{ Km}$$

- Atenuación específica de la lluvia:

$$\gamma_r = K * R_{0,01}^\alpha = 4,97 \text{ dB/Km}$$

$$K = \frac{k_h + k_v + (k_h - k_v) * \cos^2(EL) * \cos(2\tau)}{2} = 0,2137$$

$$\alpha = \frac{(k_h * \alpha_h) + (k_v * \alpha_v) + ((k_h * \alpha_h) - (k_v * \alpha_v)) * \cos^2(EL) * \cos(2\tau)}{2K} = 0,9255$$

siendo:

- $k_h = 0,2224$
- $k_v = 0,2124$
- $\alpha_h = 0,9580$
- $\alpha_v = 0,9203$
- $\tau = 90^\circ \rightarrow$ ángulo de inclinación de la polarización con respecto a la horizontal, (polarización vertical).

- Factor de reducción horizontal:

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + 0,78 * \sqrt{\frac{L_G * \gamma_r}{f_u}} - 0,38 * (1 - e^{-2 * L_G})} = 0,77$$

- Factor de ajuste vertical:

$$\xi = tg^{-1} \left(\frac{h_r - h_s}{L_G * r_{0,01}} \right) = 37,94^\circ$$

- Para $\xi > 0$:

$$LR = \frac{L_G * r_{0,01}}{\cos(EL)} = 3,97 \text{ Km}$$

- Para $La_{et} > 36^\circ$:

$$v_{0,01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin(EL)} * (31 * (1 - e^{-EL}) * \frac{\sqrt{LR * \gamma_r}}{f_u^2} - 0,45)} = 1,25$$

- Longitud del trayecto efectiva:

$$LE = LR * v_{0,01} = 4,9625 \text{ Km}$$

- Atenuación al 0,01%:

$$A_{0,01} = \gamma_r * LE = 24,66 \text{ dB}$$

Como se puede comprobar, la atenuación es muy grande, como ya se había previsto.

Debido a ello no se puede tener un enlace con una disponibilidad del 99,99% debido a

la alta potencia que se debería transmitir, por lo que se va a probar a bajar la disponibilidad del enlace. Se probará primero a tener una disponibilidad del 99,9 %:

$$A_{0,1} = A_{0,01} * \left(\frac{0,1}{0,01} \right)^{-(0,655+0,033*\ln(0,1)-0,045*\ln(A_{0,01}))} = 9,06 \text{ dB}$$

Se puede ver que la atenuación ha disminuido unos 15 dB aproximadamente, por lo que la potencia no tiene que elevarse tanto y hace que el enlace sea más fácil de implementar.

Hay que tener en cuenta también que si se tiene un enlace en el que la disponibilidad sea mayor de la que se ha presentado, no sería efectivo el enlace, por lo que habría que proponer otra solución. Un ejemplo de solución sería tener un enlace secundario en el que desviar la información a través de un segundo HUB al quedar deshabilitado el primer enlace. Esto es lo que hacen las redes VSAT actualmente. Estas, en cada enlace, tienen un HUB principal que está en funcionamiento, y otro HUB secundario que actúa ante altas inclemencias del tiempo o ante fallos en los equipos.

Una vez calculadas las pérdidas debidas a la lluvia, nos falta calcular las pérdidas debidas a todo tipo de gases atmosféricos ([ITU p676-10](#)).

- Presión atmosférica de la ubicación del HUB:

$$p = 1025 \text{ hPa}$$

- Temperatura media anual en la superficie; sacada de la ITU p1510 ([ITU p1510](#)):

$$T = 10^{\circ}$$

- Frecuencia para el enlace ascendente utilizada para los tres servicios:

$$f_u = 29 \text{ GHz}$$

- Densidad de vapor de agua:

$$\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$$

- Ángulo de elevación de la estación HUB:

$$EL = 30,97^{\circ}$$

Una vez obtenidos los datos necesarios, se puede empezar a calcular el resto de los datos para la obtención de las pérdidas:

- Atenuación específica para el aire seco para $f_u < 54 \text{ GHz}$:

$$\gamma_o = \left(\frac{7,2 * r_t^{2,8}}{f_u^2 + 0,34 * r_p^2 * r_t^{1,6}} + \frac{0,62 * \xi_3}{(54 - f_u)^{1,16 * \xi_1} + 0,83 * \xi_2} \right) * f_u^2 * r_p^2 * 10^{-3}$$

$$\gamma_o = 0,020$$

siendo:

- $\xi_1 = \varphi(r_p; r_t; 0,0717; -1,8132; 0,0156; -1,6515) = 0,998$
- $\xi_2 = \varphi(r_p; r_t; 0,5146; -4,6368; -0,1921; -5,7416) = 1,028$
- $\xi_3 = \varphi(r_p; r_t; 0,3414; -6,5851; 0,2130; -8,5854) = 1,037$
- $\varphi(r_p; r_t; a; b; c; d) = r_p^a * r_t^b * e^{(c*(1-r_p)+d*(1-r_t))}$
- $r_p = \frac{p}{1013} = 1,012$
- $r_t = \frac{288}{(273+T)} = 1,017$

- Atenuación específica para el agua:

$$\begin{aligned} \gamma_w = & \left(\frac{3,98 * \eta_1 * e^{(2,23*(1-r_t))}}{(f_u - 22,235)^2 + 9,42 * \eta_1^2} * g(f_u, 22) + \frac{11,96 * \eta_1 * e^{(0,7*(1-r_t))}}{(f_u - 183,31)^2 + 11,14 * \eta_1^2} \right. \\ & + \frac{0,081 * \eta_1 * e^{(6,44*(1-r_t))}}{(f_u - 321,226)^2 + 6,29 * \eta_1^2} + \frac{3,66 * \eta_1 * e^{(1,6*(1-r_t))}}{(f_u - 325,153)^2 + 9,22 * \eta_1^2} \\ & + \frac{25,37 * \eta_1 * e^{(1,09*(1-r_t))}}{(f_u - 380)^2} + \frac{17,4 * \eta_1 * e^{(1,46*(1-r_t))}}{(f_u - 448)^2} \\ & + \frac{844,6 * \eta_1 * e^{(0,17*(1-r_t))}}{(f_u - 557)^2} * g(f_u, 557) + \frac{290 * \eta_1 * e^{(0,41*(1-r_t))}}{(f_u - 752)^2} * g(f_u, 752) \\ & \left. + \frac{8,3328 * 10^4 * \eta_2 * e^{(0,99*(1-r_t))}}{(f_u - 1780)^2} * g(f_u, 1780) \right) * f_u^2 * r_t^{2,5} * \rho * 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\gamma_w = 0,0873$$

siendo:

- $\eta_1 = 0,955 * r_p * r_t^{0,68} + 0,006 * \rho = 1,022$
- $\eta_2 = 0,735 * r_p * r_t^{0,5} + 0,0353 * r_t^4 * \rho = 1,033$

$$g(f_u, f_i) = 1 + \left(\frac{f_u - f_i}{f_u + f_i} \right)^2$$

- Altura equivalente del aire seco para $f_u < 70 \text{ GHz}$:

$$h_o = \frac{6,1}{1 + 0,17 * r_p^{-1,1}} * (1 + t_1 + t_2 + t_3) = 5,1680$$

$$t_1 = \frac{4,64}{1 + 0,066 * r_p^{-2,3}} * e^{\left(- \left(\frac{f_u - 59,7}{2,87 + 12,4 * e^{(-7,9 * r_p)}} \right)^2 \right)} = 1,2323 * 10^{-49}$$

$$t_2 = \frac{0,14 * e^{(2,12 * r_p)}}{(f_u - 118,75)^2 + 0,031 * e^{(2,2 * r_p)}} = 1,4852 * 10^{-4}$$

$$t_3 = \frac{0,0114}{1 + 0,14 * r_p^{-2,6}} * f_u *$$

$$* \frac{-0,0247 + 0,0001 * f_u + 1,61 * 10^{-6} * f_u^2}{1 - 0,0169 * f_u + 4,1 * 10^{-5} * f_u^2 + 3,2 * 10^{-7} * f_u^3} = -0,01077$$

- Altura equivalente para el vapor de agua:

$$h_w = 1,66 * \left(1 + \frac{1,39 * \sigma_w}{(f_u - 22,235)^2 + 2,56 * \sigma_w} \right. \\ \left. + \frac{3,37 * \sigma_w}{(f_u - 183,31)^2 + 4,69 * \sigma_w} + \frac{1,58 * \sigma_w}{(f_u - 325,1)^2 + 2,89 * \sigma_w} \right) = 1,7075$$

$$\sigma_w = \frac{1,013}{1 + e^{(-8,6 * (r_p - 0,57))}} = 0,9908$$

- Atenuación final producida por los gases:

$$A_g = \frac{h_0 * \gamma_0 + h_w * \gamma_w}{\text{sen}(EL)} = 0,49 \text{ dB}$$

Como se puede comprobar, al final estas pérdidas no resultan ser muy grandes.

Retomando la potencia que debería transmitir el HUB, se tiene una PIRE final de saturación:

$$PIRE_{sat} = PIRE + A_{0,1} + A_g = 79,50 + 9,06 + 0,49 = 89,05 \text{ dBW}$$

Esta potencia que emite el HUB tiene que repartirse entre tres portadoras debido a que se tienen tres servicios a los que ofrecer cobertura. El problema que surge al transmitir tres portadoras en vez de una es que surgen productos de intermodulación.

Según la recomendación ITU-R SM.1446, estos productos de intermodulación surgen a causa de la no linealidad de los circuitos pasivos que hay en el transmisor ([ITU-R SM.1446](#)). Un ejemplo de ello pueden ser los amplificadores.

En este tipo de enlaces se necesitan amplificadores HPA por las altas potencias de salida requeridas. El inconveniente de estos amplificadores es que en su zona de máxima ganancia (zona no lineal) generan productos de intermodulación. Para evitarlos, se desplaza el punto de trabajo hacia la zona lineal. Los fabricantes establecen en sus hojas de especificaciones que si se trabaja a 3 dB por debajo de la potencia de saturación se evita que esos productos sean muy altos y así no interfieran en la señal. Esto se ve reflejado en las siguientes hojas de características del dispositivo MT2300 [\[93\]](#):

Intermodulation	Total P ₀	IM Product	Total P ₀	IM Product	Total P ₀	IM Product	Total P ₀	IM Product
(for 2 equal carriers relative to single carrier rated output):	-4 dB	-18 dB	Rated	-18 dB	Rated	-16 dB	Rated	-18 dB
	-7 dB	-24 dB	Rated -3 dB	-24 dB	Rated -2.4 dB	-22 dB	Rated -1.5 dB	-22 dB
Typical Linearizer Option Performance:	-4 dB	-27 dB						

[Ilustración 58. Intermodulación en hojas de características.](#)

Para el cálculo del balance de enlace que se está realizando, se trabajará con las hojas de especificaciones del dispositivo XTD-250Ka [\[94\]](#).

Como consecuencia de lo explicado anteriormente, la PIRE de saturación por portadora necesaria para evitar los productos de intermodulación es la siguiente:

$$PIRE_{port,sat} = PIRE_{sat} - 4 - 10 \log(N) = 89,05 - 4 - 10 \log(3) = \mathbf{80,27 \text{ dBW}}$$

donde N es el número de portadoras que comparten el transpondedor, en este caso tres debido a que se tienen tres servicios, y el -4 hace referencia a los 4 dB con los que se trabaja para evitar la intermodulación.

Una vez conocida la potencia con la que transmite cada portadora, se puede calcular el balance del enlace, calculando la relación portadora-ruido:

$$\frac{C}{No} = PIRE_{port,sat} - Lbf - L_{polariz} - L_{apuntam} - A_{lluvia} - A_{gases} + \frac{G}{T} + 228,6$$

siendo:

- $PIRE_{port,sat} = 80,27 \text{ dBW} \rightarrow$ PIRE máxima por portadora.
- $Lbf \rightarrow$ pérdidas en espacio libre:

$$Lbf = 32,4 + 20 * \log(f_u(MHz)) + 20 * \log(d(Km)) = 214,16 \text{ dB}$$

- $f_u = 29 \text{ GHz} \rightarrow$ frecuencia de transmisión.
- $d = 42252,50 \text{ Km} \rightarrow$ distancia entre el HUB y el satélite.

- $A_{lluvia} = 9,06 \text{ dB} \rightarrow$ atenuación debida a la lluvia.
- $A_g = 0,49 \text{ dB} \rightarrow$ atenuación debida a los gases.
- $\frac{G}{T} = 14 \text{ dB/K} \rightarrow$ relación entre la ganancia de antena de recepción y la temperatura de ruido (obtenida del satélite elegido: Hylas 2 teniendo en cuenta un spot-beam con condiciones meteorológicas de lluvia [\[Tabla 11\]](#)).
- $L_{polariz} = 0,8 \text{ dB} \rightarrow$ atenuación debida a la mala adaptación de la polarización entre la antena emisora y la receptora. El valor elegido es un valor típico [\[95\]](#).
- $L_{apuntam} \rightarrow$ atenuación debida al desapuntamiento entre las antenas emisoras y receptoras. Estas se calculan:

$$L_{apuntam} = 12 * \left(\frac{\theta_{error}}{\theta_{3dB}} \right)^2 = 1,43 \text{ dB}$$

- $\theta_{error} = 0,1 \rightarrow$ error en la medida del haz a 3 dB. Valor Típico.
- $\theta_{3dB} = 70 * \frac{c}{f_u(Hz)*D} = 0,289 \rightarrow$ ancho a 3 dB, con un diámetro de antena de 2,5 m. Es un valor típico [95].

Al final, el balance de enlace queda de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \frac{C}{N_0} &= 80,27 \text{ dBW} - 214,16 \text{ dB} - 0,8 \text{ dB} - 1,43 \text{ dB} - 9,06 \text{ dB} - 0,49 \text{ dB} \\ &\quad + 14 \frac{\text{dB}}{K} + 228,6 = \mathbf{96,933 \text{ dBHz}} \end{aligned}$$

Sabiendo la C/N_0 , se puede calcular la relación portadora-ruido:

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(Hz)) = \mathbf{22,32 \text{ dB}}$$

siendo:

- $B_N = 28,93 \text{ MHz} \rightarrow$ ancho de banda de ruido de la señal. Este ancho de banda equivale a la tasa de símbolos transmitidos R_s en la que se incluyen tanto los bits de información como los de codificación. Hay que calcularlo con la velocidad del sentido forward del primer servicio, que es 40 Mbps; y con la modulación elegida anteriormente según la fórmula.

$$B_N = \frac{\left(R_b * \frac{1}{FEC} * Reed\ Solomon \right)}{n^o\ \text{simbolos}} \quad [b]$$

A partir de la relación C/N , se puede calcular la E_b/N_0 :

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right) = \mathbf{20,91 \text{ dB}}$$

siendo:

- $R_b = 40 \text{ Mbps} \rightarrow$ velocidad binaria máxima de transmisión de la señal.
- $B_N = 28,93 \text{ MHz} \rightarrow$ ancho de banda de ruido a la velocidad de 40 Mbps con la modulación que se había presupuesto anteriormente.

Por último, se calcula la tasa de error BER:

$$BER = 2 * Q \left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_0} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)} \right)$$

$$\mathbf{BER} = 2 * Q \left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{20,91/10} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)} \right) = \mathbf{1,63642 * 10^{-55}}$$

Siendo $Q(x)$ la función de error complementaria que se puede obtener utilizando en el programa Matlab el comando `qfunc(x)`.

La BER obtenida es una tasa de error bastante pequeña, por lo que la señal está prácticamente libre de errores. Como se ha visto, para obtener una tasa de error tan pequeña se necesita transmitir con una PIRE muy alta, lo que supone el desaprovechamiento de los recursos de los que se disponen. Con disponer de unas tasas alrededor de $BER = 10^{-6}$, se esperan enlaces muy aceptables. Por tanto necesitaríamos una menor E_b/N_0 , lo que nos llevaría a emitir con PIRE más pequeñas.

Como se ha comentado anteriormente, se ha calculado la BER a partir del ancho de banda de ruido del primer servicio. Ahora se va a volver a calcular la BER, pero teniendo en cuenta los anchos de banda de ruido del segundo y del tercer servicio. Ambos anchos son iguales debido a que tienen la misma velocidad para el enlace forward (50 Mbps).

Con la $C/N_0 = \mathbf{96,93 \text{ dBHz}}$:

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(\text{Hz})) = \mathbf{21,34 \text{ dB}}$$

siendo:

- $B_N = 36,17 \text{ MHz} \rightarrow$ ancho de banda de ruido que ocupa la señal del segundo y tercer servicio. Fórmula [b].

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right) = \mathbf{19,93 \text{ dB}}$$

siendo:

- $R_b = 50 \text{ Mbps} \rightarrow$ velocidad binaria de transmisión de la señal.
- $B_N = 36,17 \text{ MHz} \rightarrow$ ancho de banda de ruido a la velocidad de 50 Mbps con la modulación que se había presupuesto anteriormente.

Por tanto, la tasa de error de bits:

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_0} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right)$$

$$\mathbf{BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{19,93/10} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right) = \mathbf{8,3844 * 10^{-45}}}$$

Se vuelve a comprobar que se tiene una tasa de error de bits muy pequeña; por lo que es más efectivo reducir la E_b/N_0 y obtener tasas de error de 10^{-6} .

Los cálculos hasta ahora realizados han sido ideales puesto que se ha supuesto una potencia máxima que no llegara a saturar el satélite. En vista de que podemos transmitir con menor potencia para obtener una E_b/N_0 de 10^{-6} , reharemos los cálculos basándonos en esta condición.

Como se ha comentado, se requieren tasas de error de bits de 10^{-6} para que los enlaces sean coherentes y no se malgasten recursos emitiendo con más potencia de la debida; por ello, se va a calcular a continuación la potencia con la que se debería emitir para obtener tasas de esa índole. Con E_b/N_0 de 11 dB se pueden conseguir tasas de error de bits de 10^{-6} o mejores, por lo que:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} + 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right) = \mathbf{12,4 \text{ dB}}$$

siendo:

- $R_b = 40 \text{ Mbps} \rightarrow$ velocidad binaria de transmisión de la señal del primer servicio.
- $B_N = 28,93 \text{ MHz} \rightarrow$ ancho de banda de ruido a la velocidad de 40 Mbps con la modulación que se había presupuesto anteriormente.

$$\frac{C}{N_o} = \frac{C}{N} + 10 * \log(B_N(\text{Hz})) = \mathbf{87,02 \text{ dB}}$$

- $B = 28,93 \text{ MHz} \rightarrow$ ancho de banda de ruido que ocupa la señal del primer servicio. Fórmula [b].

$$PIRE_{port,sat} = \frac{C}{N_o} + Lbf + L_{polariz} + L_{apuntam} + A_{lluvia} + A_{gases} - \frac{G}{T} - 228,6$$

$$\mathbf{PIRE_{port,sat} = 70,36 \text{ dBW}}$$

Esta potencia calculada, es la PIRE por portadora que se emitiría para el primer servicio. Esta misma potencia se compone al mismo tiempo:

$$PIRE_{port,sat} = P_{HPA} + G_{ant} - L_{cable}$$

Por tanto, se va a comprobar a continuación si nuestro HPA cumple con las condiciones del diseño que se acaba de realizar:

$$P_{HPA} = PIRE_{port,sat} - G_{ant} + L_{cable}$$

La ganancia de la antena se calcula de la siguiente manera:

$$G_{ant} = 10 * \log\left(\eta * \left(\frac{4 * \pi * D * f_u(\text{Hz})}{c}\right)^2\right) = \mathbf{67,052 \text{ dB}}$$

siendo:

- $\eta = 55 \%$ \rightarrow eficiencia de la antena. El valor elegido es un valor típico [95].
- $D = 2,5 \text{ m} \rightarrow$ diámetro de la antena. Es el valor típico elegido anteriormente [95].

- $f_u = 29 \text{ GHz} \rightarrow$ frecuencia de las portadoras en los enlaces ascendentes.
- $c = 3 * 10^8 \rightarrow$ velocidad de la luz en el vacío.
- $P_{cable} = 1 \text{ dB} \rightarrow$ pérdidas debidas al cable situado entre el amplificador HPA y la antena del HUB.

$$P_{HPA} = 70,36 - 67,052 + 1 = 4,308 \text{ dBW}$$

Según el HPA escogido [\[94\]](#), en sus hojas de características se nos asegura que la potencia máxima con la que puede emitir el HPA es de 220 W. Esta potencia corresponde con unos 23,42 dBW, con lo que nuestra potencia del HPA cumple sobradamente con las especificaciones para soportar este servicio; pero el HPA debe ofrecer los tres servicios, por lo que la potencia total del HPA para esos tres servicios es:

$$P_{HPA,total} = P_{HPA} + 10 * \log(3) + 4 = 13,079 \text{ dBW}$$

donde el 3 se refiere a los tres servicios elegidos y el 4 al back off debido a los productos de intermodulación; por lo que queda demostrado, que también se cumplen las especificaciones del HPA escogido.

Calculada la potencia del HPA se tiene que tener también en cuenta si intervienen los productos de intermodulación. Para ello se van a calcular a continuación siguiendo las reglas de la siguiente recomendación [\(ITU-R SM1446\)](#).

Las portadoras para el sentido forward con frecuencias ascendentes son las siguientes:

$$f_1 = 29,11625 \text{ GHz}$$

$$f_2 = 29,2725 \text{ GHz}$$

$$f_3 = 29,42875 \text{ GHz}$$

Se empieza calculando los productos de intermodulación de tercer orden:

$$IM_{3,1} = 2f_1 - f_2 = 28,96 \text{ GHz}$$

$$IM_{3,2} = 2f_2 - f_1 = 29,42875 \text{ GHz}$$

$$IM_{3,3} = 2f_2 - f_3 = 29,11625 \text{ GHz}$$

$$IM_{3,4} = 2f_3 - f_2 = 29,585 \text{ GHz}$$

$$IM_{3,5} = 2f_1 - f_3 = 28,80375 \text{ GHz}$$

$$IM_{3,6} = 2f_3 - f_1 = 29,74125 \text{ GHz}$$

Una vez que ya se han calculado los productos, se debe de ver cuantos entran en el ancho de banda asignado a cada portadora, que es 80 MHz para el sentido forward.

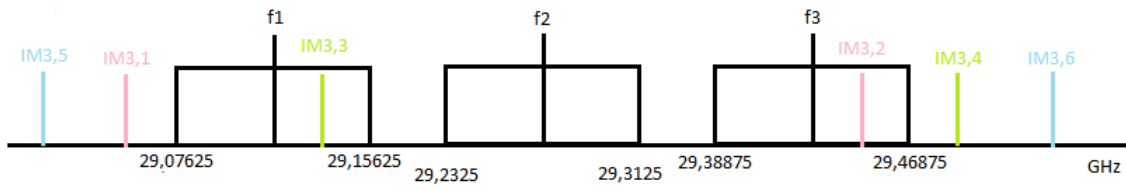


Ilustración 59. Productos de intermodulación de tercer orden para el sentido forward.

- Para la portadora 1, el ancho de banda se encuentra definido entre:

$$\text{Límite inferior: } f_1 - \frac{0,080}{2} = 29,07625 \text{ GHz}$$

$$\text{Límite superior: } f_1 + \frac{0,080}{2} = 29,15625 \text{ GHz}$$

Como se puede ver en la imagen, el único producto que cae en el ancho de banda de la primera portadora es el $IM_{3,3}$. Esto significa que a la potencia hay que restarle el nivel que introduce ese único producto, y según las especificaciones este producto de intermodulación está a -23 dB por debajo de la portadora:

$$PIRE_{pi} = PIRE_{port} - 23 = 4,308 - 23 = -18,692 \text{ dB} \rightarrow \text{potencia final del HPA debido a los productos de intermodulación.}$$

Esto significa que la relación portadora-interferencia es: $C/I = 23 \text{ dB}$.

- Para la portadora 2, el ancho de banda se encuentra definido entre:

$$\text{Límite inferior: } f_2 - \frac{0,080}{2} = 29,2325 \text{ GHz}$$

$$\text{Límite superior: } f_2 + \frac{0,080}{2} = 29,3125 \text{ GHz}$$

Como se puede ver en la imagen, no hay productos de intermodulación que queden dentro de ese ancho de banda. Por lo que significa que la potencia es la misma y no habría relación portadora-interferencia a tener en cuenta debido a que no se tienen interferencias.

- Para la portadora 3, el ancho de banda se encuentra definido entre:

$$\text{Límite inferior: } f_3 - \frac{0,080}{2} = 29,38875 \text{ GHz}$$

$$\text{Límite superior: } f_3 + \frac{0,080}{2} = 29,46875 \text{ GHz}$$

Como se puede ver en la imagen, el único producto que cae en el ancho de banda de la primera portadora es el $IM_{3,2}$. Esto significa que la potencia baja -23 dB debido a ese producto de intermodulación que interviene::

$$PIRE_{pi} = PIRE_{port} - 23 = 4,308 - 23 = -18,692 \text{ dBW}$$

Esto también significa que la relación portadora-interferencia es: $C/I = 23 \text{ dB}$.

Al tener una $C/I > 20 \text{ dB}$ en todos los casos, los productos de intermodulación no interfieren en la señal que se va a transmitir; por lo que se puede seguir con los cálculos sin tener en cuenta estos.

Después de los cálculos realizados anteriormente, la potencia final con la que transmite el HUB para el primer servicio es de **70,36 dBW**.

Se puede observar que la potencia con la se emite esta vez es menor que la potencia de saturación calculada anteriormente (80,27 dBW). Por tanto, emitiendo con potencias mayores a esa, y menores que la potencia de saturación, se obtiene un enlace con tasas de error de bits muy aceptables.

A continuación, se va a proceder de la misma manera que antes para obtener la PIRE por portadora para el segundo y tercer servicio. Con E_b/N_0 de 11 dB se pueden conseguir tasas de error de bits de 10^{-6} o mejores, por lo que:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} + 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right) = \mathbf{12,4\ dB}$$

siendo:

- $R_b = 50\ Mbps \rightarrow$ velocidad binaria de transmisión de la señal del segundo y tercer servicio.
- $B_N = 36,17\ MHz \rightarrow$ ancho de banda de ruido a la velocidad de 50 Mbps con la modulación que se había presupuesto anteriormente.

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{N} + 10 * \log(B_N(Hz)) = \mathbf{88\ dB}$$

- $B_N = 36,17\ MHz \rightarrow$ ancho de banda de ruido que ocupa la señal del segundo y tercer servicio. Fórmula [b].

$$PIRE_{port,sat} = \frac{C}{N_0} + Lbf + L_{polariz} + L_{apuntam} + A_{lluvia} + A_{gases} - \frac{G}{T} - 228,6$$

$$\mathbf{PIRE_{port,sat} = 71,34\ dBW}$$

$$\mathbf{P_{HPA} = PIRE_{port,sat} - G_{ant} + L_{cable} = 5,228}$$

La ganancia de la antena se calcula de la siguiente manera:

$$G_{ant} = 10 * \log \left(\eta * \left(\frac{4 * \pi * D * f_u(Hz)}{c} \right)^2 \right) = 67,052 \text{ dB}$$

siendo:

- $\eta = 55 \%$ \rightarrow eficiencia de la antena. El valor elegido es un valor típico [95].
- $D = 2,5 \text{ m}$ \rightarrow diámetro de la antena. Es el valor típico elegido anteriormente [95].
- $f_u = 29 \text{ GHz}$ \rightarrow frecuencia de las portadoras en los enlaces ascendentes.
- $c = 3 * 10^8$ \rightarrow velocidad de la luz en el vacío.
- $P_{cable} = 1 \text{ dB}$ \rightarrow pérdidas debidas al cable situado entre el amplificador HPA y la antena del HUB.

La potencia del HPA sigue cumpliendo las especificaciones debido a que es más pequeña que la potencia máxima impuesta en las especificaciones [94]. Por tanto, emitiendo con potencias de esa índole o superiores sin llegar a la potencia de saturación, se tendrán BER como las que se han supuesto o mejores.

Enlace descendente.

Este enlace es el que se define entre el satélite y los terminales. Una vez que la señal donde están contenidas las tres portadoras llega al satélite, estas pasan a banda base donde se regeneran, eliminando así todo tipo de ruido e interferencias que presenten. Después se suben de nuevo en frecuencia, esta vez a los 19 GHz del enlace descendente. Posteriormente, cada portadora se dirige a su spot-beam correspondiente.

Se empieza asumiendo que la PIRE con la que se sale del satélite Hylas 2 [Tabla 11] es su potencia de saturación por portadora, que se supone como $PIRE_{sat} = 61,5 \text{ dBW}$ como máxima (con condiciones de lluvia).

A partir de esta potencia se haya la potencia de una sola portadora, pero al contrario que el enlace ascendente, no se le quitan los 3 dB debidos a los productos de

intermodulación puesto que se supone que cada portadora será amplificada antes de emitirse de nuevo; por ello se dice que se regeneran las portadoras en el satélite.

$$PIRE_{port} = PIRE_{sat} - 10 * \log(N) = 61,5 - 10 * \log(3) = \mathbf{56,72 \text{ dBW}}$$

Una vez ya calculada la potencia con la que se emite cada portadora, se debe calcular los enlaces descendentes de los tres servicios por separado.

SERVICIO 1:

Se empieza calculando la distancia que existe entre la ubicación del satélite y donde se encuentra situada la empresa que ofrece el primer servicio, Francia:

$$d = r_s * \sqrt{1 + \left(\frac{r_t}{r_s}\right)^2 - 2 * \left(\frac{r_t}{r_s}\right) * \cos(\delta)} = 42951,5 \text{ Km}$$

siendo:

- $r_s = 42371 \text{ Km} \rightarrow$ distancia desde el centro de la Tierra al satélite en órbita GEO.
- $r_t = 6371 \text{ Km} \rightarrow$ radio medio de la Tierra.
- $\cos(\delta) = \cos(La_{et}) * \cos(La_s) * \cos(Lo_{et} - Lo_s) + \sin(La_{et}) * \sin(La_s)$
- $La_{et} = 48,649^\circ \rightarrow$ latitud de la ubicación de la empresa.
- $La_s = 0^\circ \rightarrow$ latitud del satélite en órbita GEO.
- $Lo_{et} = 1,8335^\circ \rightarrow$ longitud de la ubicación de la empresa.
- $Lo_s = 310^\circ \rightarrow$ longitud del satélite en órbita GEO.

Con la distancia ya calculada, se puede calcular la elevación:

$$EL = \cos^{-1} \left(\frac{r_s * \sin(\delta)}{d(Km)} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{42371 * \sin(65,90)}{42951,5} \right) = 25,77^\circ$$

Con los datos anteriores ya calculados se puede pasar a calcular las pérdidas debidas a la lluvia con los siguientes datos (sacados de las respectivas recomendaciones ya citadas anteriormente):

- $R_{0,01} = 35 \text{ mm/h}$
- $h_s = 0,154 \text{ Km}$
- $f_d = 19 \text{ GHz}$
- $h_0 = 3 \text{ Km}$
- $k_h = 0,08084$
- $k_v = 0,08642$
- $\alpha_h = 1,0691$
- $\alpha_v = 0,993$
- $\tau = 90$

$$A_{0,01} = 16,83 \text{ dB}$$

Se vuelve a tener pérdidas muy altas, por lo que se baja la disponibilidad del enlace al 99,9 %:

$$A_{0,1} = 5,95 \text{ dB}$$

Se calcula la atenuación debida a los gases con los siguientes datos, también sacados de sus recomendaciones:

- $p = 1015 \text{ hPa}$
- $T = 10^\circ$
- $f_d = 19 \text{ GHz}$
- $\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$

$$A_g = 0,43 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de espacio libre:

$$Lbf = 32,4 + 20 * \log(f_d(\text{MHz})) + 20 * \log(d(\text{Km})) = 210,634 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de apuntamiento con los siguientes datos:

- $D = 2 \text{ m} \rightarrow$ diámetro de la antena del satélite [95].
- $\theta_{error} = 0,1$
- $\theta_{3dB} = 70 * \frac{c}{f_d \text{ (Hz)} * D} = 0,55$

$$L_{apuntam} = 12 * \left(\frac{\theta_{error}}{\theta_{3dB}} \right)^2 = 0,39 \text{ dB}$$

Sacando de las hojas de características [52] una $\frac{G}{T} = 17,5 \text{ dB/K}$ y asumiendo que el resto de las pérdidas son iguales que las que ya se tenían calculadas anteriormente, se pueden calcular el resto de los datos:

$$\frac{C}{N_o} = PIRE_{port,sat} - Lbf - L_{polariz} - L_{apuntam} - A_{lluvia} - A_{gases} + \frac{G}{T} + 228,6$$

$$\frac{C}{N_o} = 56,72 \text{ dBW} - 210,634 \text{ dB} - 0,8 \text{ dB} - 0,39 \text{ dB} - 5,95 \text{ dB} - 0,43 \text{ dB}$$

$$+ 17,5 \frac{\text{dB}}{\text{K}} + 228,6 = 84,616 \text{ dBHz}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_o} - 10 * \log(B_N \text{ (Hz)})$$

$$\frac{C}{N} = 84,616 \text{ dBHz} - 10 * \log(28,93 * 10^6) = 10 \text{ dB}$$

*Utilizando el ancho de banda de ruido B_N del primer servicio.

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right)$$

$$\frac{E_b}{N_o} = 10 \text{ dB} - 10 * \log\left(\frac{40}{28,93}\right) = 8,6 \text{ dB}$$

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_o} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right)$$

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{\frac{8,6}{10}} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right) = 1,41 * 10^{-4}$$

Como se aprecia, no se pueden cumplir las condiciones del enlace debido a que no se consigue una BER mínima de 10^{-6} . Por lo tanto, se va a reducir la velocidad del enlace para lograr una tasa de error de bits deseada. Se calculará el enlace para una velocidad de 25 Mbps:

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(Hz))$$

$$\frac{C}{N} = 84,616 \text{ dBHz} - 10 * \log(18,085 * 10^6) = \mathbf{12,04 \text{ dB}}$$

*Utilizando un ancho de banda de ruido $B_N = 18,085 \text{ MHz}$ obtenido de la aplicación de la fórmula [b] (utilizando la misma modulación).

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 12,04 \text{ dB} - 10 * \log\left(\frac{25}{18,085}\right) = \mathbf{10,63 \text{ dB}}$$

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_0} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right)$$

$$\mathbf{BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{10,63/10} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right) = \mathbf{1,5 * 10^{-6}}}$$

Con la velocidad supuesta, se logra alcanzar la BER requerida. Si se sigue disminuyendo la velocidad, se mantiene esas tasas o mejores.

Otra opción con la que conseguir las tasas de error de bits requeridas es tener G/T mayores. Un valor típico de esta relación entre ganancia-temperatura es 20 dB/K [95] para antenas de 1,2 m de diámetro:

$$\frac{C}{N_0} = PIRE_{port,sat} - Lbf - L_{polariz} - L_{apuntam} - A_{lluvia} - A_{gases} + \frac{G}{T} + 228,6$$

$$\frac{C}{N_0} = 56,726 \text{ dBW} - 210,634 \text{ dB} - 0,8 \text{ dB} - 0,39 \text{ dB} - 5,95 \text{ dB} - 0,43 \text{ dB}$$

$$+ 20 \frac{dB}{K} + 228,6 = \mathbf{87,116 \text{ dBHz}}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(\text{Hz}))$$

$$\frac{C}{N} = 87,116 \text{ dBHz} - 10 * \log(28,93 * 10^6) = \mathbf{12,5 \text{ dB}}$$

*Utilizando el ancho de banda de ruido B_N del primer servicio.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 12,5 \text{ dB} - 10 * \log\left(\frac{40}{28,93}\right) = \mathbf{11,09 \text{ dB}}$$

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_0} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right)$$

$$\mathbf{BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{11,09/10} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right) = 3,916 * 10^{-7}}$$

Si se consigue tener G/T del valor propuesto, se tendrán BER de igual valor que el calculado o más pequeñas. Esto viene a señalar que la máxima velocidad del servicio se obtendrá para estaciones de usuarios que cuenten con tamaños de antena de entorno a un metro de diámetro, pudiendo obtener velocidades de antena menores, en caso de usar antenas de menor tamaño. Para el caso de ofrecer el servicio con una velocidad de 25Mbps, se recalculará el enlace ascendente para obtener la BER real para este caso, que en cualquier caso mejorará. Se obtiene una $BER = 2,2012 * 10^{-10}$, que como era de esperar, es aún menor y por tanto cumple los requisitos de calidad.

SERVICIO 2:

Se empieza, otra vez, calculando la distancia que existe entre la ubicación del satélite y donde se encuentra situada la empresa que ofrece el segundo servicio, Alemania:

$$d = r_s * \sqrt{1 + \left(\frac{r_t}{r_s}\right)^2 - 2 * \left(\frac{r_t}{r_s}\right) * \cos(\delta)} = 43781,11 \text{ Km}$$

siendo:

- $r_s = 42371 \text{ Km} \rightarrow$ distancia desde el centro de la Tierra al satélite en órbita GEO.
- $r_t = 6371 \text{ Km} \rightarrow$ radio medio de la Tierra.
- $\cos(\delta) = \cos(La_{et}) * \cos(La_s) * \cos(Lo_{et} - Lo_s) + \sin(La_{et}) * \sin(La_s)$
- $La_{et} = 52,531^\circ \rightarrow$ latitud de la ubicación de la empresa.
- $La_s = 0^\circ \rightarrow$ latitud del satélite en órbita GEO.
- $Lo_{et} = 13,126^\circ \rightarrow$ longitud de la ubicación de la empresa.
- $Lo_s = 310^\circ \rightarrow$ longitud del satélite en órbita GEO.

Con la distancia ya calculada, se puede calcular la elevación:

$$EL = \cos^{-1} \left(\frac{r_s * \sin(\delta)}{d(\text{Km})} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{42371 * \sin(74)}{43781,11} \right) = 21,518^\circ$$

Con los datos anteriores ya calculados se pasa a calcular las pérdidas debidas a la lluvia con los siguientes datos (sacados de las respectivas recomendaciones ya citadas anteriormente):

- $R_{0,01} = 30 \text{ mm/h}$
- $h_s = 0,080 \text{ Km}$
- $f_d = 19 \text{ GHz}$
- $h_0 = 3 \text{ Km}$
- $k_h = 0,08084$

- $k_v = 0,08642$
- $\alpha_h = 1,0691$
- $\alpha_v = 0,993$
- $\tau = 90$

$$A_{0,01} = 16,954 \text{ dB}$$

Se vuelven a tener pérdidas muy altas, por lo que se baja la disponibilidad del enlace al 99,9 %:

$$A_{0,1} = 5,993 \text{ dB}$$

Se calcula la atenuación debida a los gases con los siguientes datos, también sacados de sus recomendaciones:

- $p = 1010 \text{ hPa}$
- $T = 10^\circ$
- $f_d = 19 \text{ GHz}$
- $\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$

$$A_g = 0,51 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de espacio libre:

$$Lbf = 32,4 + 20 * \log(f_d(\text{MHz})) + 20 * \log(d(\text{Km})) = 210,8 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de apuntamiento con los siguientes datos:

- $D = 2 \text{ m} \rightarrow$ diámetro de la antena del satélite [\[95\]](#).
- $\theta_{error} = 0,1$
- $\theta_{3dB} = 70 * \frac{c}{f_d(\text{Hz}) * D} = 0,55$

$$L_{apuntam} = 12 * \left(\frac{\theta_{error}}{\theta_{3dB}} \right)^2 = 0,39 \text{ dB}$$

De las hojas de características del dispositivo para este servicio [57], se consigue una $\frac{G}{T} = 23 \text{ dB/K}$ (siendo la antena de 1,2 m de diámetro), y asumiendo que el resto de las pérdidas son iguales que las que ya se tenían calculadas anteriormente, se puede calcular el resto de los datos:

$$\frac{C}{N_0} = PIRE_{port,sat} - Lbf - Lpolariz - L_{apuntam} - A_{lluvia} - A_{gases} + \frac{G}{T} + 228,6$$

$$\frac{C}{N_0} = 56,72 \text{ dBW} - 210,8 \text{ dB} - 0,8 \text{ dB} - 0,39 \text{ dB} - 5,993 \text{ dB} - 0,51 \text{ dB}$$

$$+ 23 \frac{\text{dB}}{\text{K}} + 228,6 = \mathbf{89,827 \text{ dBHz}}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(\text{Hz}))$$

$$\frac{C}{N} = 89,827 \text{ dBHz} - 10 * \log(36,17 * 10^6) = \mathbf{14,24 \text{ dB}}$$

*Utilizando el ancho de banda de ruido B_N del segundo servicio. Este se obtiene a partir de la fórmula [b] con la misma modulación y una velocidad de 50 Mbps.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 14,24 \text{ dB} - 10 * \log\left(\frac{50}{36,17}\right) = \mathbf{12,83 \text{ dB}}$$

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_0} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right)$$

$$\mathbf{BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{12,83/10} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right) = 5,7186 * 10^{-10}}$$

En el caso del segundo servicio, se cumplen los requisitos de calidad para la velocidad de información propuesta.

SERVICIO 3:

Se empieza, una vez más, calculando la distancia que existe entre la ubicación del satélite y donde se encuentra situada la empresa que ofrece el tercer y último servicio, Reino Unido:

$$d = r_s * \sqrt{1 + \left(\frac{r_t}{r_s}\right)^2 - 2 * \left(\frac{r_t}{r_s}\right) * \cos(\delta)} = 42996,6073 \text{ Km}$$

siendo:

- $r_s = 42371 \text{ Km} \rightarrow$ distancia desde el centro de la Tierra al satélite en órbita GEO.
- $r_t = 6371 \text{ Km} \rightarrow$ radio medio de la Tierra.
- $\cos(\delta) = \cos(La_{et}) * \cos(La_s) * \cos(Lo_{et} - Lo_s) + \sin(La_{et}) * \sin(La_s)$
- $La_{et} = 51,511^\circ \rightarrow$ latitud de la ubicación de la empresa.
- $La_s = 0^\circ \rightarrow$ latitud del satélite en órbita GEO.
- $Lo_{et} = -0,124^\circ \rightarrow$ longitud de la ubicación de la empresa.
- $Lo_s = 310^\circ \rightarrow$ longitud del satélite en órbita GEO.

Con la distancia ya calculada, se puede calcular la elevación:

$$EL = \cos^{-1} \left(\frac{r_s * \sin(\delta)}{d(\text{Km})} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{42371 * \sin(66,35)}{42996,6073} \right) = 25,486^\circ$$

Con los datos anteriores ya calculados se pasa a calcular las pérdidas debidas a la lluvia con los siguientes datos (sacados de las respectivas recomendaciones ya citadas anteriormente):

- $R_{0,01} = 30 \text{ mm/h}$
- $h_s = 0,024 \text{ Km}$
- $f_d = 19 \text{ GHz}$
- $h_0 = 3 \text{ Km}$

- $k_h = 0,08084$
- $k_v = 0,08642$
- $\alpha_h = 1,0691$
- $\alpha_v = 0,993$
- $\tau = 90$

$$A_{0,01} = 15,73 \text{ dB}$$

Se vuelven a tener pérdidas muy altas, por lo que se baja la disponibilidad del enlace al 99,9 %:

$$A_{0,1} = 5,52 \text{ dB}$$

Se calcula la atenuación debida a los gases con los siguientes datos, también sacados de sus recomendaciones:

- $p = 1005 \text{ hPa}$
- $T = 10^\circ$
- $f_d = 19 \text{ GHz}$
- $\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$

$$A_g = 0,43 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de espacio libre:

$$Lbf = 32,4 + 20 * \log(f_d(\text{MHz})) + 20 * \log(d(\text{Km})) = 210,643 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de apuntamiento con los siguientes datos:

- $D = 2 \text{ m} \rightarrow$ diámetro de la antena del satélite [\[95\]](#).
- $\theta_{error} = 0,1$
- $\theta_{3dB} = 70 * \frac{c}{f_d(\text{Hz}) * D} = 0,55$

$$L_{apuntam} = 12 * \left(\frac{\theta_{error}}{\theta_{3dB}} \right)^2 = 0,39 \text{ dB}$$

Sacando de las hojas de características un valor de $\frac{G}{T} = 17,3 \text{ dB/K}$ [48] y asumiendo que el resto de las pérdidas son iguales que las que ya se tenían calculadas anteriormente, se puede calcular el resto de los datos:

$$\frac{C}{N_0} = PIRE_{port,sat} - Lbf - L_{polariz} - L_{apuntam} - A_{lluvia} - A_{gases} + \frac{G}{T} + 228,6$$

$$\frac{C}{N_0} = 56,72 \text{ dBW} - 210,643 \text{ dB} - 0,8 \text{ dB} - 0,39 \text{ dB} - 5,52 \text{ dB} - 0,43 \text{ dB}$$

$$+ 17,3 \frac{\text{dB}}{\text{K}} + 228,6 = \mathbf{84,837 \text{ dBHz}}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(\text{Hz}))$$

$$\frac{C}{N} = 84,837 \text{ dBHz} - 10 * \log(36,17 * 10^6) = \mathbf{9,25 \text{ dB}}$$

*Utilizando el ancho de banda de ruido B_N del tercer servicio. Este se obtiene a partir de la fórmula [b] con la misma modulación y una velocidad de 50 Mbps.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 9,25 \text{ dB} - 10 * \log\left(\frac{50}{36,17}\right) = \mathbf{7,84 \text{ dB}}$$

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_0} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right)$$

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{7,84/10} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right) = \mathbf{4,8392 * 10^{-4}}$$

Se aprecia, al igual que en el primer caso, que no se cumplen los requisitos de calidad del enlace. Por lo tanto, se tienen dos opciones.

La primera de ellas es reducir la velocidad a 25 Mbps:

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(Hz))$$

$$\frac{C}{N} = 84,837 \text{ dBHz} - 10 * \log(18,085 * 10^6) = \mathbf{12,26 \text{ dB}}$$

*Utilizando un ancho de banda de ruido $B_N = 18,085 \text{ MHz}$ obtenido de la aplicación de la fórmula [b] (utilizando la misma modulación).

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 12,26 \text{ dB} - 10 * \log\left(\frac{25}{18,085}\right) = \mathbf{10,85 \text{ dB}}$$

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_0} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right)$$

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{10,85/10} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right) = \mathbf{8,0274 * 10^{-7}}$$

Con la velocidad supuesta, se logra alcanzar la BER requerida. Si se sigue disminuyendo la velocidad, se mantiene esas tasas o mejores.

La segunda opción es aumentar la G/T de la estación terrena de usuario respecto a las que nos dan las especificaciones para poder obtener las velocidades que nos da el fabricante. Un valor típico de esta relación entre ganancia-temperatura es 20 dB/K [95]:

$$\frac{C}{N_0} = PIRE_{port,sat} - Lbf - L_{polariz} - L_{apuntam} - A_{lluvia} - A_{gases} + \frac{G}{T} + 228,6$$

$$\frac{C}{N_0} = 56,72 \text{ dBW} - 210,643 \text{ dB} - 0,8 \text{ dB} - 0,39 \text{ dB} - 5,52 \text{ dB} - 0,43 \text{ dB}$$

$$+ 20 \frac{\text{dB}}{\text{K}} + 228,6 = \mathbf{87,537 \text{ dBHz}}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(Hz))$$

$$\frac{C}{N} = 87,537 \text{ dBHz} - 10 * \log(36,17 * 10^6) = \mathbf{11,95 \text{ dB}}$$

*Utilizando el ancho de banda de ruido B_N del tercer servicio.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 11,95 \text{ dB} - 10 * \log\left(\frac{50}{36,17}\right) = \mathbf{10,54 \text{ dB}}$$

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_0} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right)$$

$$\mathbf{BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{10,54/10} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right) = \mathbf{1,9 * 10^{-6}}}$$

Si se consigue tener una G/T del valor propuesto o mayores, se obtendrán BER de igual valor que el calculado o más pequeñas; consiguiendo la calidad deseada a la velocidad propuesta inicialmente para el servicio.

Para el caso de ofrecer el servicio con una velocidad de 25 Mbps, se recalculará el enlace ascendente para obtener la BER real para este caso, que en cualquier caso mejorará. La BER del enlace ascendente para la velocidad de 25 Mbps es: $BER = 1,24756 * 10^{-12}$, que como era de esperar, es aún menor y por tanto cumple los requisitos de calidad.

4.3 PLANIFICACIÓN DEL ENLACE RETURN.

El siguiente paso, después de la planificación del sentido forward, es la planificación del sentido return, es decir, el enlace de vuelta entre los terminales de usuario y el HUB. Al igual que el otro sentido, este consta de un enlace ascendente y descendente.

Enlace ascendente.

En este caso, el enlace ascendente se realiza entre cada terminal de cada servicio y el satélite. El balance de cada servicio se realiza por separado debido a que cada uno emite desde su propia estación. Es decir, la transmisión de cada servicio va en distintos enlaces hacia el satélite.

SERVICIO 1:

Ya se había calculado anteriormente la distancia y la elevación del servicio 1.

$$d = 42951,5 \text{ Km}$$

$$EL = 25,77^\circ$$

Con los datos anteriores ya calculados se pasa a calcular las pérdidas debidas a la lluvia con los siguientes datos (sacados de las respectivas recomendaciones ya citadas anteriormente):

- $R_{0,01} = 35 \text{ mm/h}$
- $h_s = 0,154 \text{ Km}$
- $f_u = 29 \text{ GHz}$
- $h_0 = 3 \text{ Km}$
- $k_h = 0,2224$
- $k_v = 0,2124$
- $\alpha_h = 0,9580$
- $\alpha_v = 0,9203$
- $\tau = 90$

$$A_{0,01} = 33,45 \text{ dB}$$

Se vuelve a tener pérdidas muy altas, por lo que se baja la disponibilidad del enlace al 99,9 %:

$$A_{0,1} = 12,68 \text{ dB}$$

Como estas pérdidas siguen siendo muy altas para la poca PIRE de la que se dispone, se asegura el enlace para el 99,5 %:

$$A_{0,5} = 5,23 \text{ dB}$$

Se calcula la atenuación debida a los gases con los siguientes datos, también sacados de sus recomendaciones:

- $p = 1015 \text{ hPa}$
- $T = 10^\circ$
- $f_u = 29 \text{ GHz}$
- $\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$

$$A_g = 0,58 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de espacio libre:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 * \log(f_u(\text{MHz})) + 20 * \log(d(\text{Km})) = 214,3 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de apuntamiento con los siguientes datos:

- $D = 0,77 \text{ m} \rightarrow$ diámetro de la antena del primer servicio [\[52\]](#).
- $\theta_{error} = 0,1$
- $\theta_{3dB} = 70 * \frac{c}{f_u(\text{Hz}) * D} = 0,94$

$$L_{apuntam} = 12 * \left(\frac{\theta_{error}}{\theta_{3dB}} \right)^2 = 0,135 \text{ dB}$$

Sacando de las hojas de características una $\frac{G}{T} = 14 \text{ dB/K}$ [Tabla 11] y una $PIRE_{port,sat} = 48,4 \text{ dBWi}$ [52]; y asumiendo que el resto de las pérdidas son iguales que las que ya se tenían calculadas anteriormente, se puede calcular el resto de los datos:

$$\frac{C}{N_0} = PIRE_{port,sat} - L_{bf} - L_{polariz} - L_{apuntam} - A_{lluvia} - A_{gases} + \frac{G}{T} + 228,6$$

$$\frac{C}{N_0} = 48,4 \text{ dBWi} - 214,3 \text{ dB} - 0,8 \text{ dB} - 0,135 \text{ dB} - 5,23 \text{ dB} - 0,58 \text{ dB}$$

$$+ 14 \frac{\text{dB}}{\text{K}} + 228,6 = \mathbf{69,955 \text{ dBHz}}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(\text{Hz}))$$

$$\frac{C}{N} = 69,955 \text{ dBHz} - 10 * \log(8,68 * 10^6) = \mathbf{0,56 \text{ dB}}$$

*Utilizando el ancho de banda de ruido $B_N = 8,68 \text{ MHz}$, hallado con una velocidad del sentido return igual a 10 Mbps, sacado de las hojas de especificaciones [52]; y utilizando la fórmula [b] con la modulación ya indicada.

La relación portadora-ruido es demasiado baja como para recibir la señal con fiabilidad; por lo que se debe reducir la velocidad en gran medida para cumplir los objetivos del enlace. Para poder conseguir la velocidad máxima con la que obtener la tasa de bits mínima que cumple los requisitos de nuestro enlace, se sigue el siguiente procedimiento:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} + 10 * \log(R_b)$$

siendo:

- $E_b/N_0 = 11 \text{ dB} \rightarrow$ relación señal-ruido para una $BER = 10^{-6}$.
- $C/N_0 = 69,955 \rightarrow$ la relación portadora-ruido debida a la PIRE del primer servicio.

Despejando de esas fórmulas, se obtiene la velocidad máxima de 800 Kbps para nuestro primer servicio.

Para poder conseguir la velocidad que indica el fabricante en sus hojas de características, se necesitaría mayor potencia de salida en las estaciones de usuario o bien, cambiar el satélite para poder tener G/T mayores.

SERVICIO 2:

Ya habiendo calculado la distancia y la elevación para el segundo servicio:

$$d = 43781,11 \text{ Km}$$

$$EL = 21,518^\circ$$

Con los datos anteriores ya calculados se pasa a calcular las pérdidas debidas a la lluvia con los siguientes datos (sacados de las respectivas recomendaciones ya citadas anteriormente):

- $R_{0,01} = 30 \text{ mm/h}$
- $h_s = 0,080 \text{ Km}$
- $f_u = 29 \text{ GHz}$
- $h_0 = 3 \text{ Km}$
- $k_h = 0,2224$
- $k_v = 0,2124$
- $\alpha_h = 0,9580$
- $\alpha_v = 0,9203$
- $\tau = 90$

$$A_{0,01} = 33,59 \text{ dB}$$

Se vuelven a tener pérdidas muy altas, por lo que se baja la disponibilidad del enlace al 99,9 %:

$$A_{0,1} = 12,74 \text{ dB}$$

Debido a la poca potencia que se tiene, se calcula el enlace para una disponibilidad del 99,5 %:

$$A_{0,5} = 5,26 \text{ dB}$$

Se calcula la atenuación debida a los gases con los siguientes datos, también sacados de sus recomendaciones:

- $p = 1010 \text{ hPa}$
- $T = 10^\circ$
- $f_u = 29 \text{ GHz}$
- $\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$

$$A_g = 0,68 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de espacio libre:

$$Lbf = 32,4 + 20 * \log(f_u(MHz)) + 20 * \log(d(Km)) = 214,47 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de apuntamiento con los siguientes datos:

- $D = 1,2 \text{ m} \rightarrow$ diámetro de la antena del segundo servicio [\[57\]](#).
- $\theta_{error} = 0,1$
- $\theta_{3dB} = 70 * \frac{c}{f_u(Hz)*D} = 0,6$

$$L_{apuntam} = 12 * \left(\frac{\theta_{error}}{\theta_{3dB}} \right)^2 = 0,33 \text{ dB}$$

De las hojas de características del satélite, se consigue una $\frac{G}{T} = 14 \text{ dB/K}$ [\[Tabla 11\]](#) y sacando del dispositivo una $PIRE_{port,sat} = 54 \text{ dBWi}$ [\[57\]](#); y asumiendo que el resto de las pérdidas son iguales que las que ya se tenían calculadas anteriormente, se puede calcular el resto de los datos:

$$\frac{C}{No} = PIRE_{port,sat} - Lbf - L_{polariz} - L_{apuntam} - A_{lluvia} - A_{gases} + \frac{G}{T} + 228,6$$

$$\frac{C}{No} = 54dBW - 214,47 \text{ dB} - 0,8 \text{ dB} - 0,33 \text{ dB} - 5,26 \text{ dB} - 0,68 \text{ dB}$$

$$+14 \frac{dB}{K} + 228,6 = 75,06 \text{ dBHz}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(Hz))$$

$$\frac{C}{N} = 75,06 \text{ dBHz} - 10 * \log(14,46 * 10^6) = \mathbf{3,45 \text{ dB}}$$

*Utilizando el ancho de banda de ruido B_N del segundo servicio. Este se obtiene a partir de la fórmula [b] con la misma modulación y una velocidad de 20 Mbps.

La relación portadora-ruido sigue siendo demasiado baja como para recibir la señal con fiabilidad; por lo que, otra vez, se deberá reducir la velocidad en gran medida para cumplir los objetivos del enlace. Para poder conseguir la velocidad máxima con la que obtener la tasa de bits mínima que cumple los requisitos de nuestro enlace, seguimos el siguiente procedimiento:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} + 10 * \log(R_b)$$

siendo:

- $E_b/N_0 = 11 \text{ dB} \rightarrow$ relación señal-ruido para una $BER = 10^{-6}$.
- $C/N_0 = 75,06 \rightarrow$ la relación portadora-ruido debida a la PIRE del segundo servicio.

Despejando de esas fórmulas, se obtiene la velocidad máxima de 2,7 Mbps para nuestro segundo servicio.

Para poder conseguir la velocidad que indica el fabricante en sus hojas de características, se necesitaría mayor potencia de salida en las estaciones de usuario o bien, cambiar el satélite para poder tener G/T mayores.

SERVICIO 3:

Ya se calculó anteriormente la distancia y la elevación del tercer servicio:

$$d = 42996,6073 \text{ Km}$$

$$EL = 25,486^o$$

Con los datos anteriores, se puede obtener las pérdidas debidas a la lluvia con los siguientes datos (sacados de las respectivas recomendaciones ya citadas anteriormente):

- $R_{0,01} = 30 \text{ mm/h}$
- $h_s = 0,024 \text{ Km}$
- $f_u = 29 \text{ GHz}$
- $h_0 = 3 \text{ Km}$
- $k_h = 0,2224$
- $k_v = 0,2124$
- $\alpha_h = 0,9580$
- $\alpha_v = 0,9203$
- $\tau = 90$

$$A_{0,01} = 31,42 \text{ dB}$$

Se vuelven a tener pérdidas muy altas, por lo que se baja la disponibilidad del enlace al 99,9 %:

$$A_{0,1} = 11,84 \text{ dB}$$

Al igual, que ha ocurrido en las demás ocasiones, se baja la disponibilidad del enlace hasta el 99,5 %:

$$A_{0,5} = 4,86 \text{ dB}$$

Se calcula la atenuación debida a los gases con los siguientes datos, también sacados de sus recomendaciones:

- $p = 1005 \text{ hPa}$
- $T = 10^\circ$
- $f_u = 29 \text{ GHz}$
- $\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$

$$A_g = 0,58 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de espacio libre:

$$Lbf = 32,4 + 20 * \log(f_u(\text{MHz})) + 20 * \log(d(\text{Km})) = 214,316 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de apuntamiento con los siguientes datos:

- $D = 0,75 \text{ m} \rightarrow$ diámetro de la antena del tercer servicio [\[48\]](#).
- $\theta_{error} = 0,1$
- $\theta_{3dB} = 70 * \frac{c}{f_u(\text{Hz}) * D} = 0,96$

$$L_{apuntam} = 12 * \left(\frac{\theta_{error}}{\theta_{3dB}} \right)^2 = 0,13 \text{ dB}$$

Sacando de las hojas de características un valor de $\frac{G}{T} = 14 \text{ dB/K}$ [\[Tabla 11\]](#) y una $PIRE_{port,sat} = 51,5 \text{ dBW}$ [\[48\]](#); y asumiendo que el resto de las pérdidas son iguales que las que ya se tendría calculadas anteriormente, se puede calcular el resto de los datos:

$$\frac{C}{No} = PIRE_{port,sat} - Lbf - L_{polariz} - L_{apuntam} - A_{lluvia} - A_{gases} + \frac{G}{T} + 228,6$$

$$\frac{C}{No} = 51,5 \text{ dBW} - 214,316 \text{ dB} - 0,8 \text{ dB} - 0,13 \text{ dB} - 4,86 \text{ dB} - 0,58 \text{ dB}$$

$$+ 14 \frac{\text{dB}}{\text{K}} + 228,6 = 73,414 \text{ dBHz}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(Hz))$$

$$\frac{C}{N} = 73,414 \text{ dBHz} - 10 * \log(3,6 * 10^6) = \mathbf{7,85 \text{ dB}}$$

*Utilizando el ancho de banda de ruido B_N del tercer servicio. Este se obtiene a partir de la fórmula [b] con la misma modulación y una velocidad de 5 Mbps.

La relación portadora-ruido sigue siendo demasiado baja como para recibir la señal con fiabilidad; por tanto, se reducirá la velocidad hasta conseguir la tasa de bits mínima que cumple los requisitos de nuestro enlace:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} + 10 * \log(R_b)$$

siendo:

- $E_b/N_0 = 11 \text{ dB} \rightarrow$ relación señal-ruido para una $BER = 10^{-6}$.
- $C/N_0 = 73,414 \rightarrow$ la relación portadora-ruido debida a la PIRE del tercer servicio.

Despejando de esas fórmulas, se obtiene la velocidad máxima de 1,7 Mbps para nuestro tercer servicio.

Para poder conseguir la velocidad que indica el fabricante en sus hojas de características, se necesitaría mayor potencia de salida en las estaciones de usuario o bien, cambiar el satélite para poder tener G/T mayores.

Enlace descendente.

Este enlace para el sentido return, es el que se define entre el satélite y el HUB. Lo primero que se tiene que conocer es la potencia con la que transmite el satélite. El satélite elegido es el Hylas 2, que emite con $PIRE_{sat} = 61,5 \text{ dBW}$ [Tabla 11]. Al igual que ocurría anteriormente, se necesita un amplificador HPA que intente evitar los productos de intermodulación y así, sacar la potencia máxima por portadora; por tanto:

$$PIRE_{port,TOTAL} = PIRE_{sat} - 4 - 10 \log(N) = 61,5 - 4 - 10 \log(3) = 52,72 \text{ dBW}$$

A esta potencia de portadora con la que emite el satélite hay que restarle la ganancia que tiene la antena del satélite para poder hallar la potencia de este.

$$G_{ant} = 10 * \log \left(\eta * \left(\frac{4 * \pi * D * f_d(Hz)}{c} \right)^2 \right) = 61,81 \text{ dB}$$

siendo:

- $\eta = 60 \%$ \rightarrow eficiencia de la antena. El valor elegido es un valor típico [92].
- $D = 2 \text{ m}$ \rightarrow diámetro de la antena. Es el valor típico elegido anteriormente [92].
- $f_d = 19 \text{ GHz}$ \rightarrow frecuencia de las portadoras en los enlaces descendentes.
- $c = 3 * 10^8$ \rightarrow velocidad de la luz en el vacío.

Por tanto:

$$PIRE_{HPA} = PIRE_{port,TOTAL} - G_{ant} + L_{cable} = -8,09 \text{ dBW}$$

siendo:

- $P_{cable} = 1 \text{ dB}$ \rightarrow pérdidas debidas al cable situado entre el amplificador HPA y la antena del satélite.

Se puede apreciar entonces, que la potencia con la que emite el HPA para esta portadora es muy pequeña, del entorno de mW. Al ser esta potencia tan pequeña, se presupone que la potencia total con la que el HPA emite las tres portadoras también será pequeña:

$$P_{HPA,total} = P_{HPA} + 10 * \log(3) + 4 = 0,68 \text{ dBW}$$

donde el 3 se refiere a los tres servicios elegidos y el 4 al back off debido a los productos de intermodulación; por lo que queda demostrado, que también se cumplen las especificaciones del HPA escogido debido a que la potencia total de este es menor que la potencia total que se indican en sus hojas de características [\[94\]](#).

A continuación, se comprobará una vez más, si los productos de intermodulación interfieren en la señal. Anteriormente se demostró, que con la potencia a la que se trabaja, no interfieren esos productos; por lo que trabajando a menor potencia tampoco interferirán, pero se comprobará una vez más siguiendo las indicaciones de la recomendación [\(ITU-R SM1446\)](#).

Las portadoras para el sentido return con frecuencias descendentes son las siguientes:

$$f_1 = 19,046 \text{ GHz}$$

$$f_2 = 19,2025 \text{ GHz}$$

$$f_3 = 19,358 \text{ GHz}$$

Se empiezan calculando los productos de intermodulación de tercer orden:

$$IM_{3,1} = 2f_1 - f_2 = 18,8895 \text{ GHz}$$

$$IM_{3,2} = 2f_2 - f_1 = 19,359 \text{ GHz}$$

$$IM_{3,3} = 2f_2 - f_3 = 19,047 \text{ GHz}$$

$$IM_{3,4} = 2f_3 - f_2 = 19,5135 \text{ GHz}$$

$$IM_{3,5} = 2f_1 - f_3 = 18,734 \text{ GHz}$$

$$IM_{3,6} = 2f_3 - f_1 = 19,67 \text{ GHz}$$

Una vez que ya se han calculado los productos, se tiene que ver cuantos entran en el ancho de banda asignado a cada portadora, que es 30 MHz para el sentido return.

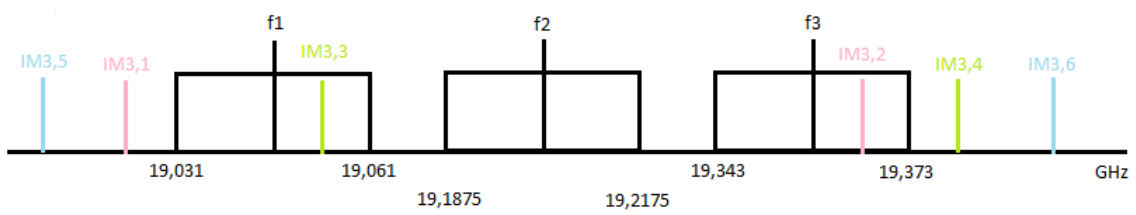


Ilustración 60. Productos de intermodulación de tercer orden para el sentido return.

- Para la portadora 1, el ancho de banda se encuentra definido entre:

$$\text{Límite inferior: } f_1 - \frac{0,030}{2} = 19,031 \text{ GHz}$$

$$\text{Límite superior: } f_1 + \frac{0,030}{2} = 19,061 \text{ GHz}$$

Como se puede ver en la imagen, el único producto que cae en el ancho de banda de la primera portadora es el $IM_{3,3}$. Esto significa que a esa potencia hay que restarle el nivel que introduce ese único producto, y según las especificaciones es 23 dB [94]:

$$PIRE_{TOTAL,1} = PIRE_{port} - PIRE_{intermod} = -8,09 - 23 = -31,09 \text{ dBW}$$

Esto significa que la relación portadora-interferencia es: $C/I = 23 \text{ dB}$.

- Para la portadora 2, el ancho de banda se encuentra definido entre:

$$\text{Límite inferior: } f_2 - \frac{0,030}{2} = 19,1875 \text{ GHz}$$

$$\text{Límite superior: } f_2 + \frac{0,030}{2} = 19,2175 \text{ GHz}$$

Como se puede ver en la imagen, no hay productos de intermodulación que queden dentro de ese ancho de banda. Por lo que significa que la potencia es la misma y no habría relación portadora-interferencia a tener en cuenta debido a que no se tienen interferencias.

- Para la portadora 3, el ancho de banda se encuentra definido entre:

$$\text{Límite inferior: } f_3 - \frac{0,030}{2} = 19,343 \text{ GHz}$$

$$\text{Límite superior: } f_3 + \frac{0,030}{2} = 19,373 \text{ GHz}$$

Como se puede ver en la imagen, el único producto que cae en el ancho de banda de la primera portadora es el $IM_{3,2}$. Esto significa que a la potencia hay que restarle el nivel que introduce ese único producto:

$$PIRE_{TOTAL,3} = PIRE_{port} - PIRE_{intermod} = -8,09 - 23 = -31,09 \text{ dBW}$$

Esto también significa que la relación portadora-interferencia es: $C/I = 23 \text{ dB}$.

Al tener una $C/I > 20 \text{ dB}$ en todos los casos, los productos de intermodulación no interfieren en la señal que se va a transmitir; por lo que se puede continuar con los cálculos sin tener en cuenta estos.

Sabiendo finalmente, que la antena del satélite transmite con una potencia de **52,72 dBW**, se puede calcular el balance del enlace para los distintos servicios.

La distancia y la elevación de este enlace es la misma para los tres servicios, y es la misma que la que se calculó anteriormente:

$$d = 42252,50 \text{ Km}$$

$$EL = 30,97^\circ$$

SERVICIO 1:

Con los datos anteriores, se puede obtener las pérdidas debidas a la lluvia con los siguientes datos (sacados de las respectivas recomendaciones ya citadas anteriormente):

- $R_{0,01} = 30 \text{ mm/h}$
- $h_s = 0,7 \text{ Km}$
- $f_d = 19 \text{ GHz}$
- $h_0 = 3 \text{ Km}$
- $k_h = 0,08084$
- $k_v = 0,08642$
- $\alpha_h = 1,0691$
- $\alpha_v = 0,993$
- $\tau = 90$

$$A_{0,01} = 12,40 \text{ dB}$$

Se vuelve a tener pérdidas muy altas, por lo que se baja la disponibilidad del enlace al 99,9 %:

$$A_{0,1} = 4,76 \text{ dB}$$

Se calcula la atenuación debida a los gases con los siguientes datos, también sacados de sus recomendaciones:

- $p = 1025 \text{ hPa}$
- $T = 10^\circ$
- $f_d = 19 \text{ GHz}$
- $\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$

$$A_g = 0,37 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de espacio libre:

$$Lbf = 32,4 + 20 * \log(f_d(\text{MHz})) + 20 * \log(d(\text{Km})) = 210,5 \text{ dB}$$

Se calculan las pérdidas de apuntamiento con los siguientes datos:

- $D = 2 \text{ m} \rightarrow$ diámetro de la antena del satélite. Es un valor típico [95].
- $\theta_{error} = 0,1$
- $\theta_{3dB} = 70 * \frac{c}{f_d \text{ (Hz)} * D} = 0,55$

$$L_{apuntam} = 12 * \left(\frac{\theta_{error}}{\theta_{3dB}} \right)^2 = 0,39 \text{ dB}$$

Cogiendo un valor típico de $\frac{G}{T} = 21 \text{ dB/K}$ del HUB [95] y asumiendo que el resto de las pérdidas son iguales que las que ya se tenían calculadas anteriormente, se pueden calcular el resto de los datos:

$$\frac{C}{No} = PIRE_{port,sat} - Lbf - L_{polariz} - L_{apuntam} - A_{lluvia} - A_{gases} + \frac{G}{T} + 228,6$$

$$\frac{C}{No} = 52,72 \text{ dBW} - 210,5 \text{ dB} - 0,8 \text{ dB} - 0,39 \text{ dB} - 4,76 \text{ dB} - 0,37 \text{ dB}$$

$$+ 21 \frac{\text{dB}}{\text{K}} + 228,6 = 85,5 \text{ dBHz}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{No} - 10 * \log(B_N \text{ (Hz)})$$

$$\frac{C}{N} = 85,5 \text{ dBHz} - 10 * \log(0,578 * 10^6) = 27,88 \text{ dB}$$

*Utilizando el ancho de banda de ruido B del primer servicio, obtenido de la aplicación de la fórmula [b] con una velocidad de 800 Kbps. Se usa esta velocidad debido a que el enlace ascendente no obtiene buenas tasas de error si se aumenta.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 27,88 \text{ dB} - 10 * \log\left(\frac{0,8}{0,578}\right) = 26,46 \text{ dB}$$

$$BER = 2 * Q \left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_0} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)} \right)$$

$$BER = 2 * Q \left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{26,46/10} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)} \right) = 0$$

En este caso se obtiene una tasa de error de cero. Eso es debido a que se ha utilizado una velocidad demasiado pequeña para la capacidad del enlace. Si se utiliza una velocidad de 10 Mbps como indica el fabricante en este primer servicio, se obtendría una $BER = 3,3306 * 10^{-21}$, que sigue siendo muy buena, pero más realista.

SERVICIO 2:

Como el enlace es el mismo que para el caso anterior, se disponen de prácticamente de todos los cálculos, por lo que:

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(Hz))$$

$$\frac{C}{N} = 85,5 \text{ dBHz} - 10 * \log(1,95 * 10^6) = 22,6 \text{ dB}$$

*Utilizando el ancho de banda de ruido B_N del segundo servicio, obtenido de la aplicación de la fórmula [b] con una velocidad de 2,7 Mbps, que es el máximo de velocidad que soporta el enlace ascendente.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 22,6 \text{ dB} - 10 * \log\left(\frac{2,7}{1,95}\right) = 21,18 \text{ dB}$$

$$BER = 2 * Q \left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_0} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)} \right)$$

$$BER = 2 * Q \left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{21,18/10} * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)} \right) = 0$$

En este caso se obtiene también una tasa de error de cero debido a que se ha utilizado una velocidad demasiado pequeña para la capacidad del enlace.

Si se utiliza una velocidad de 20 Mbps como indica el fabricante para el segundo servicio, se obtendría una $BER = 2,3926 * 10^{-11}$, que es también muy buena, pero algo más realista.

SERVICIO 3:

Como el enlace es el mismo que el de los casos anteriores, se disponen de prácticamente de todos los cálculos, por lo que:

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - 10 * \log(B_N(Hz))$$

$$\frac{C}{N} = 85,5 \text{ dBHz} - 10 * \log(1,23 * 10^6) = \mathbf{24,6 \text{ dB}}$$

*Utilizando el ancho de banda de ruido B_N del tercer servicio, obtenido de la aplicación de la fórmula [b] con una velocidad de 1,7 Mbps, que es el máximo de velocidad que soporta el enlace ascendente.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 * \log\left(\frac{R_b}{B_N}\right)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 24,6 \text{ dB} - 10 * \log\left(\frac{1,7}{1,23}\right) = \mathbf{23,19 \text{ dB}}$$

$$BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * \frac{E_b}{N_0} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right)$$

$$\mathbf{BER = 2 * Q\left(\sqrt{2 * \log_2(4) * 10^{23,19/10} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right) = 0}$$

Se sigue obteniendo una tasa de error muy pequeña debido a la velocidad, pero si se utiliza la velocidad del servicio 3 que indica el fabricante (5 Mbps), se obtendría una $BER = 1,035 * 10^{-40}$, que sigue siendo muy buena.

Finalmente, se va a presentar un esquema de los resultados hallados anteriormente:

Tabla 12. Resultados del sentido Forward.

BER - FORWARD	UPLINK	DOWNLINK
Servicio 1 (25 Mbps)	$2,2012 * 10^{-10}$	$1,5 * 10^{-6}$
Servicio 2 (50 Mbps)	$1 * 10^{-6}$	$5,7186 * 10^{-10}$
Servicio 3 (25 Mbps)	$1,24756 * 10^{-12}$	$8,0274 * 10^{-7}$

Tabla 13. Resultados del sentido Return.

BER – RETURN	UPLINK	DOWNLINK
Servicio 1 (800 Kbps)	$1 * 10^{-6}$	0
Servicio 2 (2,7 Mbps)	$1 * 10^{-6}$	0
Servicio 3 (1,7 Mbps)	$1 * 10^{-6}$	0

Estos son los resultados obtenidos para los enlaces realizados con tasas de error de bits aceptables. Esto significa que las velocidades son más bajas que las impuestas por los fabricantes como puede comprobarse. Esto se debe principalmente a que el satélite escogido no se ajusta a las capacidades que ofrecen los terminales VSAT. Se puede deducir que los terminales que se deben usar con el satélite Hylas 2 deben transmitir con una PIRE mayor si se quieren alcanzar las velocidades propuestas. Se deduce también, que la G/T del satélite con el que trabajan los terminales escogidos debe ser mayor que la del Hylas 2.

CONCLUSIONES

- Se ha llevado a cabo un estudio del proceso de evolución de las comunicaciones por satélite, en cuanto al uso de las bandas de frecuencias. El elemento que ha tirado claramente de la misma es tanto la demanda de servicios de mayor ancho de banda como el desarrollo de nuevas tecnologías que aplicadas al satélite, permiten ofrecer nuevos servicios interactivos al usuario final.
- Se constata que, con las nuevas tecnologías incorporadas a los satélites y la nueva banda de trabajo, actualmente el satélite es la única tecnología capaz de llevar la banda ancha al usuario final en aquellas zonas donde las redes terrestres no existen o no alcanzan.
- La principal desventaja que tiene la banda Ka es la lluvia debido a la interferencia que causa en sus enlaces. Durante años, este hecho impidió plantear de forma realista las comunicaciones en esta banda. La posibilidad de transmitir con mayor potencia en áreas más pequeñas ha paliado en parte este problema, aunque se sigue investigando en soluciones adicionales para mitigar su efecto, como la modulación y codificación adaptativa y el control de potencia.
- Se han estudiado las tecnologías que permiten el uso de la banda Ka para comunicaciones de banda ancha interactivas, demostrándose fundamentales el uso de spot-beams, así como la estructura VSAT de estos nuevos sistemas.
- En los cálculos del sentido forward, cabe destacar que se reduce la velocidad que dictan los terminales debido a que el satélite utilizado no es para el que están diseñados dichos terminales. Se deduce a partir de ello, que son necesarios satélites con mayor PIRE para conseguir las elevadas velocidades de los servicios propuestos. Proporcionar estas velocidades con el satélite Hylas 2 requerirá de terminales con una mayor G/T, lo que llevaría a mayores tamaños de antena y mejores equipos receptores.

- En los cálculos del sentido return, se debe también reducir la velocidad debido a que el satélite utilizado no es para el que están diseñados dichos terminales. Por la misma razón, se deduce a partir de ello, que son necesarios satélites con mayor G/T para conseguir las elevadas velocidades de los servicios propuestos. Proporcionar estas velocidades con el satélite Hylas 2 requerirá de terminales con mayor PIRE, lo que llevaría a mayores tamaños de antena y transmisores más potentes.

BIBLIOGRAFÍA.

[1] <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/presentaciones/satelites-07.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “satélites-07”.

[*] <https://books.google.es/books?id=WWD-4oF9hjEC&pg=PA111&lpg=PA111&dq=frecuencias+enlace+ascendente+banda+S&source=bl&ots=XyfeVct8Ad&sig=3WcNVq1Ef0PILvMAVO68wPk7X4w&hl=es&sa=X&ved=0CEoQ6AEwB2oVChMI8enOqYWjxwIVAsUUCH0M6gNm#v=onepage&q=frecuencias%20enlace%20ascendente%20banda%20S&f=false>

[2] <https://www.inmarsatgov.com/services/network/satellite/band/>

[3]

<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/CNAF/cuadroAtribuciones2013.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “cuadroAtribuciones2013”.

[4] <http://www.satcom-airbusds.com/products-solutions/government-satcom/products-systems/bandwidth/commercial-bandwidth-2/>

[5] <http://www.inmarsat.com/about-us/our-satellites/>
http://space.skyrocket.de/doc_sdat/inmarsat-3.htm

[6] <https://www.inmarsatgov.com/uploadedFiles/Resources/Downloads/l-tac-whitepaper.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “l-tac-whitepaper”.

[7] http://www.upv.es/satellite/trabajos/Grupo2_98.99/standnofr.html

[8] <http://www.gradiant.org/es/actualidad/noticias/172-dvb-sh-television-digital-movil-por-satellite.html>

[9] <http://www.satcomresources.com/Newtec-Elevation-Series-NTC-11130-DVB-S2-L-Band-Satellite-IP-Modem>

[10]

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/campos_v_da/capitulo1.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “capitulo1”.

[11] <http://www.fiercewireless.com/europe/story/echostar-buys-struggling-mss-operator-solaris-mobile/2014-01-08>

[http://www.inmarsat.com/wp-content/uploads/2014/09/Inmarsat Investor Day Development And Engineering September 2014 EN.pdf](http://www.inmarsat.com/wp-content/uploads/2014/09/Inmarsat_Investor_Day_Development_And_Engineering_September_2014_EN.pdf)

→ Documento adjunto con el nombre

“Inmarsat_Investor_Day_Development_And_Engineering_September_2014_EN”.

[http://www.esa.int/Our Activities/Telecommunications Integrated Applications/Satellite frequency bands](http://www.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/Satellite_frequency_bands)

[12] <http://www.zarya.info/Frequencies/FrequenciesSband.php>

[13] <http://www.advantechwireless.com/wp-content/uploads/Advantech-Wireless-Releases-new-line-of-S-Band-Frequency-Converters-for-DTH-and-GPS-Solutions-PR.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “Advantech-Wireless-Releases-new-line-of-S-Band-Frequency-Converters-for-DTH-and-GPS-Solutions-PR”.

[14] <http://www.prnewswire.com/news-releases/orbitals-indostar-direct-broadcast-satellite-shipped-to-south-american-launch-site-75105862.html>

[15] <http://www.protostarsat.com/fleet.html>

[16] http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_4/eltos/space/frec.htm

[17] <http://www.upv.es/satelite/trabajos/pracGrupo2/intro/comsubs.html>

[18] <http://www.eutelsat.com/home/news/press-releases/Archives/2013/press-list-container/ppc-of-nigeria-selects-eutelsat.html>

[19]

<https://books.google.es/books?id=4vApljJBzMC&pg=PA146&lpg=PA146&dq=CDMA+y+la+banda+C&source=bl&ots=oQiro1GNdw&sig=IOJuyqShWW0OnI6PPZtqHARKRhw&hl=es&sa=X&ved=0CEoQ6AEwB2oVChMInreLvfaxgIVRjcUCh2bbQDq#v=onepage&q=CDMA%20y%20la%20banda%20C&f=false>

[20] <http://www.lyngsat.com/>

[21] [http://www.intelsat.com/wp-content/uploads/2014/04/Infographic_C-band Spanish.pdf](http://www.intelsat.com/wp-content/uploads/2014/04/Infographic_C-band_Spanish.pdf)

→ Documento adjunto con el nombre “Infographic_C-band_Spanish”.

[22] <http://www.hispasat.com/es/informacion-util/en-defensa-de-la-banda-c>

[23] <http://ecuamensajes.com/2012/06/09/lista-de-satelites-con-cobertura-en-america-latina/>

[24] <https://es.ses-astra.com/18580462/satellite-amc12.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “satellite-amc12”.

[25]

http://www.eutelsatamericas.com/files/contributed/es/flota/EUTELSAT_SATELLITE_ES_E6WA.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “EUTELSAT_SATELLITE_ES_E6WA”.

[26] <http://www.satcomresources.com/iDirect-5300-Router-5W-C-Band-BUC-NJS8487H-LNB-Bundle>

[27] http://www.upv.es/satellite/trabajos/Grupo7_99.00/Interfe.htm

[28] <http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/csat/material/CSA08-8-DVB-S-S2-RCS.pdf>

→ Documento con el nombre “CSA08-8-DVB-S-S2-RCS”.

[29] Radares de tráfico:

http://www.euskalnet.net/imaseari/mas_radar.htm

<http://www.todoradares.com/bandas-de-frecuencias-de-radares-de-trafico/menu-id-985>

[30] <http://www.radioenlaces.es/articulos/calculo-de-la-atenuacion-por-absorcion-atmosferica-en-un-radioenlace/>

[31] <http://www.hispasat.com/es/flota-de-satelites/amazonas-1>

[32] http://www.gilat.com/dynimages/t_brochures/files/Ka-band%20versus%20Ku-band%202011-08.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “Ka-band versus Ku-band 2011-08”.

[33] <http://www.advantechwireless.com/wp-content/uploads/DVB-S2-theory.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “DVB-S2-theory”.

[34] <http://adsabs.harvard.edu/abs/1984coss.conf..395S>

[35] http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432013000300005&script=sci_arttext

[36] <http://www.nasa.gov/missions/earth/fs13grc.html>

<https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCEQFjAAahUKEwjW38bt0vvGAhXHESwKHf2hDw8&url=http%3A%2F%2Fwww.hughes.com%2Fresources%2Fground-segment-technologies-for-ka-band-and-beyond%2Fdownload&ei=A1G2VZbSNsejsAH9w754&usg=AFQjCNHLpmp-jrU3tkRHkXzWCEbGNywPnA&bvm=bv.98717601,d.bGg>

→ Documento adjunto con el nombre

“H50684_Ground_Segment_Technologies_for_Ka_Band_and_Beyond_Oct_2013”.

[37] <http://www.intelsat.com/blog/ka-band-vs-ku-band-the-knowledge-you-need-to-make-the-right-decision-for-your-organization/>

[38] <https://itunews.itu.int/es/2746-La-banda-ancha-por-satelite-alcanza-la-mayoria-de-edad.note.aspx>

[39] <http://www.hispasat.com/es/soluciones-y-servicios>

[40] <http://www.hispasat.com/contenidos/web-documentos/4k.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “4K”.

<http://www.lyngsat.com/Hispasat-1E.html>

[41] <http://www.efeempresas.com/noticia/hispasat-suma-5-500-clientes-de-internet-por-banda-ancha-en-latinoamerica/>

[42] http://www.hispasat.com/contenidos/web-documentos/dth-esp_220914.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “dth-esp_220914”.

[43] <http://www.onemagazine.es/noticia/11933/Industria/Hispasat-refuerza-su-presencia-en-Brasil-de-cara-al-mundial-de-futbol-de-2014-y-los-Juegos-Olimpicos-de-2016.html>

[44] <http://www.panoramaaudiovisual.com/2015/05/11/hispasat-transmitira-eventos-en-directo-y-peliculas-a-mas-de-500-cines-de-mexico/>

[45] <http://www.inmarsat.com/service/global-xpress/>

[46] http://www.inmarsat.com/wp-content/uploads/2015/01/Inmarsat_USG_GX_Brochure_January_2015_EN_LowRes.pdf

→ Documento adjunto con el nombre

“Inmarsat_USG_GX_Brochure_January_2015_EN_LowRes”.

https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCIQFjAAahUKEwjPlfvO0cfHAhXBvRQKH14DfA&url=http%3A%2F%2Fwww.itu.int%2Fmd%2Fdologin_md.asp%3Fid%3DR12-ITURSEM.COSTARICA-SP-0027!!PDF-

[S&ei=QyjeVY_oGcH7Uo3xtYAP&usg=AFQjCNG_ejkcfCw1EkYvHqS1riSYIHWtpw](https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCIQFjAAahUKEwjPlfvO0cfHAhXBvRQKH14DfA&url=http%3A%2F%2Fwww.itu.int%2Fmd%2Fdologin_md.asp%3Fid%3DR12-ITURSEM.COSTARICA-SP-0027!!PDF-S&ei=QyjeVY_oGcH7Uo3xtYAP&usg=AFQjCNG_ejkcfCw1EkYvHqS1riSYIHWtpw)

→ Documento adjunto con el nombre “R12-ITURSEM.COSTARICA-SP-0027!!PDF-S”.

[47] <http://www.inmarsat.com/news/first-land-terminals-approved-global-xpress/>

[48] <http://www.cobham.com/about-cobham/communications-and-connectivity/about-us/satcom/land-mobile-satcom-systems/products-and-services/man-portable-vsats/explorer-3075gx/explorer-3075gx-data-sheet.aspx>

→ Documento adjunto con el nombre “EXPLORER 3075GX Data Sheet”.

[49]

https://www.viasat.com/sites/default/files/legacy/web/datasheets/overview_spanish.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “overview_spanish”.

[50] <https://www.viasat.com/news/viasat-introduces-surfbeam-2-broadband-networking-system>

[51]

https://www.viasat.com/sites/default/files/legacy/surfbeam2_Overview_018_web.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “surfbeam2_Overview_018_web”.

[52]

https://www.viasat.com/sites/default/files/legacy/surfbeam2_residential_satellite_terminal_datasheet_040_web.pdf

→ Documento adjunto con el nombre

“surfbeam2_residential_satellite_terminal_datasheet_040_web”.

[53] <https://www.viasat.com/products/high-capacity-satellites>

[54] <https://www.viasat.com/products/ka-band-ground-systems>

[55] <https://www.viasat.com/products/terminals>

[56] <https://www.viasat.com/products/enterprise-broadband>

[57]

<https://www.viasat.com/sites/default/files/legacy/Exede Enterprise Terminals Datasheet 004 web.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre

“Exede_Enterprise_Terminals_Datasheet_004_web”.

[58] <http://www.eutelsat.com/en/services/broadcast-media.html>

<http://www.eutelsat.com/en/services/data-telecoms.html>

[59]

http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/Fiche Smart LNB.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “EUTELSAT_SMARTLNB_M2M_1014”.

[60]

http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/Ultra-HD.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “Ultra-HD”.

[61]

http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/IP-Easy.pdf

[62] <http://www.tooway.es/descubre-internet-via-satelite/solucion-contr-la-brecha-digital/>

[63] <http://eutelsatbroadband.com/products/newsspotter/>

[64] <http://eutelsatbroadband.com/products/vno/>

[65] <http://www.eutelsatamericas.com/es/home/support/resources/press-release-archives/2014-1/press-list-container/viasat-and-eutelsat-enter-first.html>

[66] <http://www.intelsatgeneral.com/infrastructure/intelsat-epicng/>

[67] <http://www.intelsatgeneral.com/infrastructure/intelsat-epicng/faqs/>

[68] <http://www.intelsat.com/applications/broadband-2/intelsat-epicng-for-broadband/>

[69] <http://www.intelsat.com/applications/media/intelsat-epicng-for-media/>

[70] <http://www.intelsat.com/infrastructure/intelsat-epicng/intelsat-epicng-for-government/>

[71]

<https://www.iridium.com//About/IridiumGlobalNetwork/SatelliteConstellation.aspx>

[72] http://www.upv.es/satelite/trabajos/pracGrupo18/t_bandas.htm

[73]

<https://books.google.es/books?id=ztTpTayFeSUC&pg=PT111&lpg=PT111&dq=Globalstar+y+la+banda+Ka&source=bl&ots=JH2u-fWOT0&sig=daWfqA4so5SdxfgoqFH6Ys7sUM&hl=es&sa=X&ved=0CDcQ6AEwBGoVChMI8afy0KejxwIVhLYUCh3AdAAv#v=onepage&q&f=false>

[74] http://www.upv.es/satelite/trabajos/telec_movil/leos.htm

<http://community.seattletimes.nwsources.com/archive/?date=20021007&slug=telledesic070>

[75] www.astronautix.com/craft/odyssey.htm

[76]

https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCEQFjAAahUKEwjOz9_8gczHAhWH2BoKHe5UB_4&url=http%3A%2F%2Fwww.itu.int%2Fmd%2Fdologin_md.asp%3Fid%3DR12-ITURKA.BAND-C-0001!!PDF-E&ei=13PgVY6IEoexa-6pnfAP&usg=AFQjCNErKBi5UelAfvw9UMeTrz_-7Tas9g

→ Documento adjunto con el nombre “R12-ITURKA.BAND-C-0001!!PDF-E”.

<http://www.newtec.eu/article/article/the-future-of-high-throughput-satellites-for-service-providers>

<http://www.intelsatgeneral.com/blog/defining-high-throughput-satellites-hts/>

<http://www.satellitetoday.com/telecom/2012/05/01/fss-and-mss-blurring-the-lines/>

[77] <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/hispasat-1e>

http://space.skyrocket.de/doc_sdat/hispasat-1e.htm

[78] <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/future-satellites/hispasat-1f>

http://space.skyrocket.de/doc_sdat/hispasat-1f.htm

[79] <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/amazonas-3>

[80] <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/future-satellites/amazonas-5>

- [81] <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/governmental-satellites/xtar-eur>
- [82] <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/governmental-satellites/spainsat>
- [83] <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/future-satellites/hispasat-ag1>
http://space.skyrocket.de/doc_sdat/hispasat-ag1.htm
- [84] <https://www.viasat.com/news/viasat-1-high-capacity-satellite-launch-successful>
<https://www.viasat.com/viasat-1-launch>
<https://www.satbeams.com/satellites?norad=37843>
<https://en.wikipedia.org/wiki/ViaSat-1>
http://space.skyrocket.de/doc_sdat/viasat-1.htm
- [85] <https://www.viasat.com/products/high-capacity-satellites>
<http://investors.viasat.com/releasedetail.cfm?releaseid=890740>
http://space.skyrocket.de/doc_sdat/viasat-2.htm
<http://spacenews.com/35369viasat-2s-first-of-its-kind-design-will-enable-broad-geographic-reach/>
- [86] http://www.groundcontrol.com/Global_Xpress.htm
<http://www.inmarsat.com/the-i-5-satellites/>
<https://web.archive.org/web/20140806183315/http://www.boeing.com/boeing/defense-space/space/bss/factsheets/702/Inmarsat-5/Inmarsat-5.page#specs>
- [87] <http://www.eutelsat.com/en/satellites/the-fleet/EUTELSAT-16A.html>
https://de.wikipedia.org/wiki/Eutelsat_16A
- [88]
http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/ka-sat-professional-services.pdf
→ Documento adjunto con el nombre “ka-sat-professional-services”.
<https://en.wikipedia.org/wiki/KA-SAT>
http://space.skyrocket.de/doc_sdat/ka-sat.htm
- [89] <http://www.intelsat.com/infrastructure/satellites-and-coverage-maps/upcoming-launches/>

<http://www.sky-brokers.com/uploads/99/44/9944fff28f2d6d23f45dfb8c4b65fb98/Intelsat-29E-Satellite-Footprints.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “Intelsat-29E-Satellite-Footprints”.

[90] <http://www.intelsat.com/infrastructure/satellites-and-coverage-maps/upcoming-launches/>

<http://www.sky-brokers.com/uploads/a2/1d/a21d73af2ee5c00805a7d76ee4f6d835/Intelsat-33E-Satellite-Footprints.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “Intelsat-33E-Satellite-Footprints”.

[91] <http://www.avantiplc.com/fleet-coverage/coverage>

[92] https://www.viasat.com/sites/default/files/media/documents/13.5m_ka-band_earth_station_017_web.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “13.5m_ka-band_earth_station_017_web”.

[93] http://www.satcomnow.com/satcom/pdf/MCL_MT2300.pdf

→ Documento con el nombre “MCL_MT2300”.

[94] <http://www.xicomtech.com/products/documents/XTD-250Ka%20Rev%206.pdf>

→ Documento con el nombre “XTD-250Ka Rev 6”.

[95] <http://waset.org/publications/9602/configuration-and-the-calculation-of-link-budget-for-a-connection-via-a-geostationary-satellite-for-multimedia-application-in-the-ka-band>

→ Documento con el nombre “Configuration-and-the-Calculation-of-Link-Budget-for-a-Connection-via-a-Geostationary-Satellite-for-Multimedia-Application-in-the-Ka-band”.

(ITU p618-11) https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.618-11-201309-S!!PDF-S.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “R-REC-P.618-11-201309-S!!PDF-S”.

(ITU p531-12) https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.531-12-201309-I!!PDF-S.pdf

- Documento adjunto con el nombre “R-REC-P.531-12-201309-I!!PDF-S”.
(ITU p525-2) https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-I!!PDF-S.pdf
- Documento adjunto con el nombre “R-REC-P.525-2-199408-I!!PDF-S”.
(ITU p676-10) http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-10-201309-I!!PDF-S.pdf
- Documento adjunto con el nombre “R-REC-P.676-10-201309-I!!PDF-S”.
(ITU p840-6) https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.840-6-201309-I!!PDF-S.pdf
- Documento adjunto con el nombre “R-REC-P.840-6-201309-I!!PDF-S”.
(ITU p839-3) https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.839-3-200102-S!!PDF-E.pdf
- Documento adjunto con el nombre “R-REC-P.839-3-200102-S!!PDF-E”.
(ITU p838-3) https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S.pdf
- Documento adjunto con el nombre “R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S”.
(ITU p1510) https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1510-0-200102-I!!PDF-S.pdf
- Documento adjunto con el nombre “R-REC-P.1510-0-200102-I!!PDF-S”.
(ITU-R SM.1446) https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1446-0-200004-I!!PDF-S.pdf
- Documento adjunto con el nombre “R-REC-SM.1446-0-200004-I!!PDF-S”.

BIBLIOGRAFÍA DE FIGURAS.

Ilustración 1. http://www.donegal-holdings.com/mini-m_coverage.htm

Ilustración 2. http://space.skyrocket.de/doc_sdat/inmarsat-3.htm

Ilustración 3. <https://ca.wikipedia.org/wiki/DVB-SH>

Ilustración 4. http://space.skyrocket.de/doc_sdat/indostar-1.htm

Ilustración 5. <http://www.protostarsat.com/fleet.html>

Ilustración 6. <http://www.protostarsat.com/fleet.html>

Ilustración 7. <http://www.protostarsat.com/fleet.html>

Ilustración 8. <http://www.telali.com.pe/popup/antena-parabolica-2.40-mts-banda-C.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “antena-parabolica-2.40-mts-banda-C”.

Ilustración 9. <http://www.satelliteprome.com/news/comtech-ef-data-integrates-satellite-block-up-converter-with-c2sat-antenna/>

Ilustración 10. <https://www.satbeams.com/satellites?norad=26469>

Ilustración 11. <http://www.jac-chile.cl/wp-content/uploads/2015/06/Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda”.

Ilustración 12. <http://www.spw.cl/inalambrico/dth3.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “dth3”.

Ilustración 13. <http://www.spw.cl/inalambrico/dth3.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “dth3”.

Ilustración 14. <http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/csat/material/CSA08-8-DVB-S-S2-RCS.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “CSA08-8-DVB-S-S2-RCS”.

Ilustración 15. <http://www.jac-chile.cl/wp-content/uploads/2015/06/Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda”.

Ilustración 16. <http://www.hispasat.com/contenidos/web-documentos/amazonas-1.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “amazonas-1”.

Ilustración 17. http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_4/eltos/space/frec.htm

Ilustración 18. [http://www.jac-chile.cl/wp-](http://www.jac-chile.cl/wp-content/uploads/2015/06/Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda.pdf)

[content/uploads/2015/06/Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda.pdf](http://www.jac-chile.cl/wp-content/uploads/2015/06/Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda.pdf)

→ Documento adjunto con el nombre “Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda”.

Ilustración 19.

<https://www.google.es/search?q=reutilizaci%C3%B3n+de+frecuencias&espv=2&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0CDAQsARqFQoTCNSezsO-8YCFcjAcgodUiYPjg&dpr=1>

Ilustración 20. [http://www.jac-chile.cl/wp-](http://www.jac-chile.cl/wp-content/uploads/2015/06/Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda.pdf)

[content/uploads/2015/06/Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda.pdf](http://www.jac-chile.cl/wp-content/uploads/2015/06/Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda.pdf)

→ Documento adjunto con el nombre “Conectividad-a-bordo.-Patricio-Sepulveda”.

Ilustración 21. <https://itunews.itu.int/es/2746-La-banda-ancha-por-satelite-alcanza-la-mayoria-de-edad.note.aspx>

Ilustración 22. <http://www.hispasat.com/es/soluciones-y-servicios/audiovisuales>

Ilustración 23. <http://www.hispasat.com/es/soluciones-y-servicios/audiovisuales/difusion-dth>

Ilustración 24. <http://www.hispasat.com/contenidos/web-documentos/ficha-troncales-esp-13-03-131.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “ficha-troncales-esp-13-03-131”.

Ilustración 25. <http://www.hispasat.com/contenidos/web-documentos/ficha-acceso-a-internet-esp-13-3-131.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre “ficha-acceso-a-internet-esp-13-3-131”.

Ilustración 26. [http://www.inmarsat.com/wp-](http://www.inmarsat.com/wp-content/uploads/2015/01/Inmarsat_USG_GX_Brochure_January_2015_EN_LowRes.pdf)

[content/uploads/2015/01/Inmarsat_USG_GX_Brochure_January_2015_EN_LowRes.pdf](http://www.inmarsat.com/wp-content/uploads/2015/01/Inmarsat_USG_GX_Brochure_January_2015_EN_LowRes.pdf)

→ Documento adjunto con el nombre

“Inmarsat_USG_GX_Brochure_January_2015_EN_LowRes”.

Ilustración 27. <http://www.inmarsat.com/news/first-land-terminals-approved-global-xpress/>

Ilustración 28.

https://www.viasat.com/sites/default/files/legacy/surfbeam2_Overview_018_web.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “surfbeam2_Overview_018_web”.

Ilustración 29.

https://www.viasat.com/sites/default/files/legacy/surfbeam2_Overview_018_web.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “surfbeam2_Overview_018_web”.

Ilustración 30. <http://www.eutelsat.com/en/services/broadcast/direct-to-home/smart-LNB.html>

Ilustración 31.

http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/EUTELSAT_SMARTLNB_M2M_1014.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “EUTELSAT_SMARTLNB_M2M_1014”.

Ilustración 32.

http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/EUTELSAT_DTT_Services.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “EUTELSAT_DTT_Services”.

Ilustración 33.

http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/EUTELSAT_DSAT_ENG.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “EUTELSAT_DSAT_ENG”.

Ilustración 34. <http://eutelsatbroadband.com/products/tooway/>

Ilustración 35.

<http://www.eutelsatamericas.com/es/home/support/resources/press-release-archives/2014-1/press-list-container/viasat-and-eutelsat-enter-first.html>

Ilustración 36. http://www.intelsat.com/wp-content/uploads/2013/03/Intelsat_EpicNG_brochure.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “Intelsat_EpicNG_brochure”.

Ilustración 37. <http://encorda2.com/2012/10/09/telefono-satelital/>

Ilustración 38. http://www.upv.es/satelite/trabajos/pracGrupo18/t_bandas.htm

Ilustración 39. http://www.upv.es/satelite/trabajos/telec_movil/leos.htm

Ilustración 40. <http://www.hispasat.com/es/flota-de-satelites/hispasat-1e>

Ilustración 41. <http://www.hispasat.com/es/flota-de-satelites/amazonas-3>

Ilustración 42. <http://www.hispasat.com/es/flota-de-satelites/satelites-gubernamentales>

Ilustración 43. <http://danielmarin.naukas.com/2011/10/19/lanzamiento-proton-mbriz-m-viasat-1/>

Ilustración 44. <http://spacenews.com/35369viasat-2s-first-of-its-kind-design-will-enable-broad-geographic-reach/>

Ilustración 45. <http://www.flightglobal.com/news/articles/rockwell-collins-to-assume-key-role-in-inmarsat39s-global-361434/>

Ilustración 46. <http://spacenews.com/inmarsat-sticks-to-global-xpress-projections-despite-military-sales-downturn/>

Ilustración 47.

http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/EUTELSAT_SATELLITE_E16A.pdf

→ Documento adjunto con el nombre "EUTELSAT_SATELLITE_E16A".

Ilustración 48. <http://www.eutelsat.com/en/satellites/the-fleet/EUTELSAT-16A-uplink-coverage.html>

Ilustración 49.

http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/ka-sat-professional-services.pdf

→ Documento adjunto con el nombre "ka-sat-professional-services".

Ilustración 50.

http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/ka-sat-professional-services.pdf

→ Documento adjunto con el nombre "ka-sat-professional-services".

Ilustración 51. <http://www.sky-brokers.com/uploads/99/44/9944fff28f2d6d23f45dfb8c4b65fb98/Intelsat-29E-Satellite-Footprints.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre "Intelsat-29E-Satellite-Footprints".

Ilustración 52. <http://www.sky-brokers.com/uploads/a2/1d/a21d73af2ee5c00805a7d76ee4f6d835/Intelsat-33E-Satellite-Footprints.pdf>

→ Documento adjunto con el nombre "Intelsat-33E-Satellite-Footprints".

Ilustración 53. <http://www.avantiplc.com/fleet-coverage/coverage>

Ilustración 58. http://www.satcomnow.com/satcom/pdf/MCL_MT2300.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “MCL_MT2300”.

BIBLIOGRAFÍA DE TABLAS.

Tabla 1. http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_6/iridium.htm

Tabla 2. <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/hispasat-1e>

Tabla 3. <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/future-satellites/hispasat-1f>

Tabla 4. <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/amazonas-3>

Tabla 5. <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/future-satellites/amazonas-5>

Tabla 6. <http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/future-satellites/hispasat-ag1>

Tabla 7. <https://www.viasat.com/news/viasat-1-high-capacity-satellite-launch-successful>

<https://www.viasat.com/viasat-1-launch>

<https://www.satbeams.com/satellites?norad=37843>

<https://en.wikipedia.org/wiki/ViaSat-1>

http://space.skyrocket.de/doc_sdat/viasat-1.htm

Tabla 8. <http://www.eutelsat.com/en/satellites/the-fleet/EUTELSAT-16A.html>

https://de.wikipedia.org/wiki/Eutelsat_16A

Tabla 9.

http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/ka-sat-professional-services.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “ka-sat-professional-services”.

Tabla 10. <http://www.avantiplc.com/fleet-coverage/hylas-1>

Tabla 11. http://www.avantiplc.com/hylas2/hylas2_productsheet.pdf

→ Documento adjunto con el nombre “hylas2_productsheet”.

